

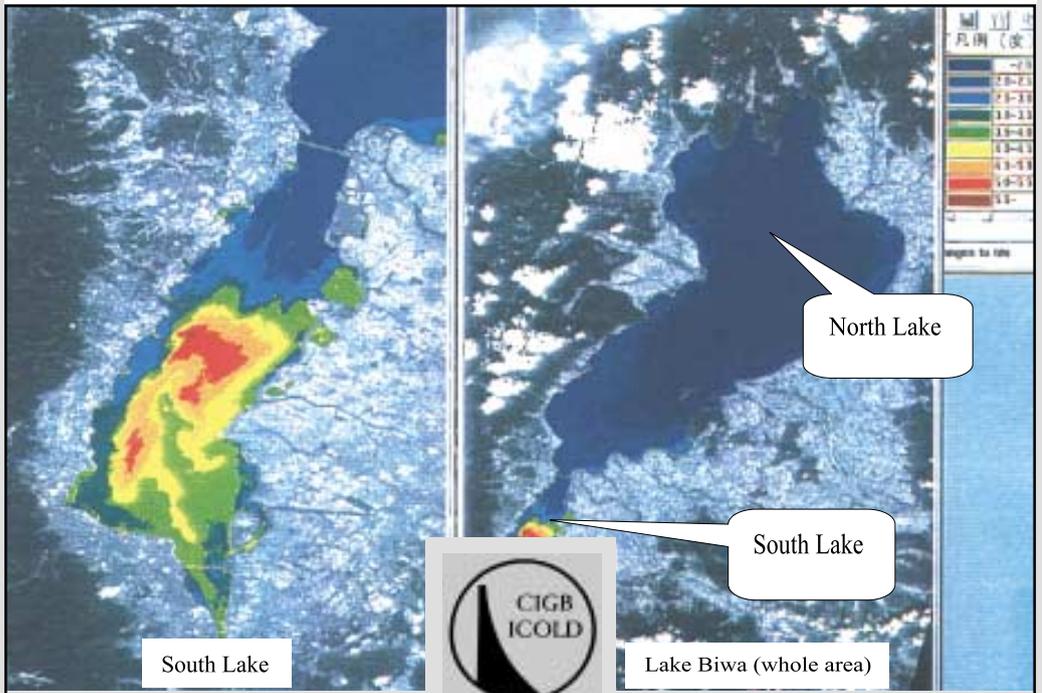
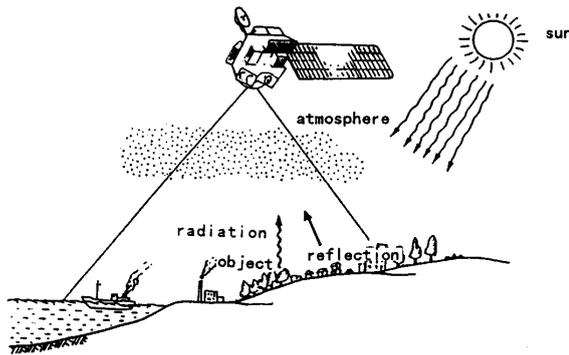
# REMOTE SENSING FOR RESERVOIR WATER QUALITY MANAGEMENT

## *Examples of initiatives*

# TÉLÉDÉTECTION POUR LA GESTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES RETENUES

## *Exemples d'initiatives*

Bulletin 127



2004

The cover illustration is reproduced from Fig. 2-1-1 of the Bulletin :  
Data collection by R/S using satellite,  
and from Fig 3-7-1 : Example of a water quality distribution image (turbidity).

*L'illustration de couverture est extraite de la Fig. 2-1-1 du Bulletin :  
Collecte de données par télédétection à l'aide d'un satellite,  
et de la Fig. 3-7-1 : Exemple d'image de répartition de la qualité de l'eau (turbidité).*

### **AVERTISSEMENT – EXONÉRATION DE RESPONSABILITÉ :**

Les informations, analyses et conclusions contenues dans cet ouvrage n'ont pas force de Loi et ne doivent pas être considérées comme un substitut aux réglementations officielles imposées par la Loi. Elles sont uniquement destinées à un public de Professionnels Avertis, seuls aptes à en apprécier et à en déterminer la valeur et la portée.

Malgré tout le soin apporté à la rédaction de cet ouvrage, compte tenu de l'évolution des techniques et de la science, nous ne pouvons en garantir l'exhaustivité.

Nous déclinons expressément toute responsabilité quant à l'interprétation et l'application éventuelles (y compris les dommages éventuels en résultant ou liés) du contenu de cet ouvrage.

En poursuivant la lecture de cet ouvrage, vous acceptez de façon expresse cette condition.

### **NOTICE – DISCLAIMER :**

The information, analyses and conclusions in this document have no legal force and must not be considered as substituting for legally-enforceable official regulations. They are intended for the use of experienced professionals who are alone equipped to judge their pertinence and applicability.

This document has been drafted with the greatest care but, in view of the pace of change in science and technology, we cannot guarantee that it covers all aspects of the topics discussed.

We decline all responsibility whatsoever for how the information herein is interpreted and used and will accept no liability for any loss or damage arising therefrom.

Do not read on unless you accept this disclaimer without reservation.

Original text in English  
French translation finalized by Y. Le May

*Texte original en anglais  
Traduction en français mise au point par Y. Le May*

# REMOTE SENSING FOR RESERVOIR WATER QUALITY MANAGEMENT

---

*Examples of initiatives*

# TÉLÉDÉTECTION POUR LA GESTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DES RETENUES

---

*Exemples d'initiatives*

---

Commission Internationale des Grands Barrages - 151, bd Haussmann, 75008 Paris  
Tél. : (33-1) 53 75 16 52 - Fax : (33-1) 40 42 60 71  
E-mail : [secretaire.general@icold-cigb.org](mailto:secretaire.general@icold-cigb.org)  
Sites : [www.icold-cigb.org](http://www.icold-cigb.org) & [www.icold-cigb.net](http://www.icold-cigb.net)

---

COMMITTEE ON THE ENVIRONMENT  
COMITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

(1997-2003)\*

<i>Chairman/Président</i>	G. GUERTIN
Canada/Canada	
<i>Members/Membres</i>	
Algeria/Algérie	A. BOUCHAMA
Australia/Australie	R. WARK
Austria/Autriche	H. GAISBAUER
Brazil/Brésil	G. V. CANALI
Cameroon/Cameroun	T. NSANGOU
China/Chine	Xiaohong RUAN
France/France	J. MICHEL
Germany/Allemagne	H. MANTWILL
Indonesia/Indonésie	D. M. ROEDJITO
Iran/Iran	R. GHARAVY
Italy/Italie	G. CESARI
Japan/Japon	J. HARADA
Malaysia/Malaisie	ZAINAL ABIDIN OTHMAN
Netherlands/Pays-Bas	H. L. F. SAEIJS
New Zealand/Nlle-Zélande	P. RILEY
Norway/Norvège	M. E. SKOFTELAND
Pakistan/Pakistan	R. AHMAD KHAN
Romania/Roumanie	S. IONESCU
Russia/Russie	A. ASSARIN
Spain/Espagne	J. FORA BECEDONIZ
Sweden/Suède	B. SVENSSON
Switzerland/Suisse	B. HAGIN
United Kigdom/Royaume-Uni	R. TAYLOR
USA/États-Unis	B. DWYER
Venezuela/Venezuela	Mrs. E. COLON C.
Zimbabwe/Zimbabwe	J. HART

---

(\*) Membership in 2001/*Composition en 2001*

---

---

## SOMMAIRE

---

AVANT-PROPOS

RÉSUMÉ

1. VUE D'ENSEMBLE
2. ÉTUDE DE FAISABILITÉ
3. MANUEL DE CONTRÔLE  
DE L'EAU PAR  
TÉLÉDÉTECTION
4. CONCLUSIONS ET  
PERSPECTIVES D'AVENIR
5. RÉFÉRENCES

FIGURES ET TABLEAUX

---

## CONTENTS

---

FOREWORD

ABSTRACT

1. OVERVIEW
2. FEASIBILITY STUDY
3. REMOTE SENSING BASED  
WATER MONITORING  
MANUAL
4. CONCLUSION AND FUTURE  
OUTLOOK
5. REFERENCES

FIGURES AND TABLES

---

# TABLE DES MATIÈRES

---

AVANT-PROPOS .....	8
RÉSUMÉ .....	10
1. VUE D'ENSEMBLE .....	12
1.1. Introduction .....	12
1.2. Objectifs annuels .....	14
2. ÉTUDE DE FAISABILITÉ .....	16
2.1. Technologie de télédétection .....	16
2.2. Applicabilité de la télédétection au milieu aquatique .....	18
2.3. Étude de cas .....	18
2.3.1. Sélection des zones d'observation .....	18
2.3.2. Sélection de la plate-forme .....	20
2.3.3. Résumé des résultats de l'étude de cas .....	22
2.3.4. Application des informations sur la qualité de l'eau, fournies par télédétection, à la gestion des retenues .....	24
3. MANUEL DE CONTRÔLE DE L'EAU PAR TÉLÉDÉTECTION .....	26
3.1. Aperçu des techniques .....	26
3.1.1. Procédure d'introduction .....	26
3.1.2. Avantages et utilité de la télédétection .....	26
3.2. Clarification qualitative de la qualité de l'eau à l'aide des données recueillies dans le passé .....	28
3.2.1. Recherche de données .....	28
3.2.2. Acquisition des données satellitaires .....	32
3.2.3. Prétraitement des données satellitaires .....	34
3.2.4. Déduction et analyse des tendances dans la répartition de la qualité de l'eau .....	34
3.2.5. Utilisation des résultats de l'analyse des tendances de la qualité de l'eau .....	36
3.3. Contrôle périodique quantitatif de la qualité de l'eau à partir des nouvelles données d'observation .....	38
3.3.1. Préparation d'un plan d'observation .....	38
3.3.2. Conduite des observations .....	40
3.3.3. Confirmation des résultats d'observation .....	42

---

# TABLE OF CONTENTS

---

FOREWORD .....	9
ABSTRACT .....	11
1. OVERVIEW .....	13
1.1. Introduction .....	13
1.2. Annual goals .....	15
2. FEASIBILITY STUDY .....	17
2.1. Remote sensing technology .....	17
2.2. Applicability of remote sensing to water environment .....	19
2.3. Case study .....	19
2.3.1. Selection of observation areas .....	19
2.3.2. Selection of platform .....	21
2.3.3. Summary of the result of case study .....	23
2.3.4. Application of water quality information provided by R/S to reservoir management .....	25
3. REMOTE SENSING BASED WATER MONITORING MANUAL .....	27
3.1. Outline of the techniques .....	27
3.1.1. Introduction process .....	27
3.1.2. Benefits and usefulness of R/S .....	27
3.2. Qualitative clarification of water quality using past data .....	29
3.2.1. Searching for data .....	29
3.2.2. Acquiring satellite data .....	33
3.2.3. Preprocessing satellite data .....	35
3.2.4. Abstraction and analysis of water quality distribution trends .....	35
3.2.5. Using the results of the analysis of water quality trends .....	37
3.3. Quantitative periodical water quality monitoring based on new observation data .....	39
3.3.1. Preparing an observation plan .....	39
3.3.2. Conducting observations .....	41
3.3.3. Confirming observation results .....	43

3.4. Acquisition des données satellitaires .....	42
3.5. Prétraitement des données satellitaires .....	46
3.6. Analyse de corrélation entre les données satellitaires et les valeurs de la qualité de l'eau mesurées .....	46
3.7. Clarification et utilisation de la répartition de la qualité de l'eau .....	50
4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES D'AVENIR .....	56
4.1. Évaluation complète de l'applicabilité de la télédétection .....	56
4.2. Perspectives d'avenir de l'utilisation pratique de la méthode de télédétection .....	58
5. RÉFÉRENCES .....	62
FIGURES ET TABLEAUX .....	64

3.4. Acquiring satellite data .....	43
3.5. Preprocessing satellite data .....	47
3.6. Correlation analysis of satellite data and measured water quality values .....	47
3.7. Clarifying and utilizing water quality distribution .....	51
4. CONCLUSION AND FUTURE OUTLOOK .....	57
4.1. Comprehensive evaluation of the applicability of remote sensing .....	57
4.2. Future outlook for the practical use of remote sensing method .....	59
5. REFERENCES .....	62
FIGURES AND TABLES .....	65

---

# AVANT-PROPOS

---

Le rapport intitulé « Télédétection pour la gestion de la qualité de l'eau dans les retenues » a été préparé par le Comité Japonais des Grands Barrages (JCOLD), avec la collaboration du Comité des Grands Barrages des États-Unis (USSD), en réponse à un besoin identifié par le Comité CIGB de l'Environnement. Le but de ce rapport est de documenter les résultats d'une étude effectuée au Japon sur une durée de trois ans, dont les objectifs étaient d'évaluer la télédétection comme outil combiné d'identification des paramètres de qualité de l'eau d'une retenue et des caractéristiques pertinentes d'un bassin versant, en vue de s'en servir dans la gestion de la qualité de l'eau des retenues et des lâchures, et dans la gestion du bassin versant de la retenue. La qualité de l'eau de grands lacs, à savoir le Lac Biwa et le Lac Kasumigaura, a fait l'objet d'études par télédétection.

Le présent Bulletin est un résumé qui expose les principaux résultats de l'étude et informe les ingénieurs de barrage, les planificateurs de projets hydrauliques et les chefs de projet des possibilités de cette nouvelle technologie pour améliorer la planification et l'exploitation des aménagements hydrauliques en vue de réaliser de meilleurs objectifs concernant la qualité de l'eau. Ce résumé comprend également toutes les références techniques données dans le rapport complet.

Le rapport complet (version anglaise), qui est disponible sur CD-ROM auprès de la CIGB, donne un compte rendu détaillé des résultats de l'étude, incluant un grand nombre de Figures en couleur illustrant l'utilisation de la télédétection dans la gestion de la qualité de l'eau.

Le Bulletin démontre clairement que la télédétection constitue une méthode appropriée pouvant être appliquée à la gestion de la qualité de l'eau dans les retenues, bien que l'ensemble de la technologie dans ce domaine ne soit pas inclus, celle-ci progressant continuellement. On prévoit que de nouvelles techniques dans ce domaine seront développées et appliquées dans le futur à la gestion de la qualité de l'eau des retenues, et joueront un rôle important dans la gestion de la qualité de l'eau grâce aux travaux de recherche futurs.

## REMERCIEMENTS

Dans ce Bulletin, nous avons résumé les résultats de l'étude sur l'applicabilité de la méthode de la télédétection à la gestion de la qualité de l'eau des retenues, en nous appuyant sur une étude de cas réalisée au Japon. Pour établir ce résumé, nous avons effectué, conjointement avec des collègues des États-Unis, une étude sur l'utilisation de la télédétection et sur l'applicabilité de l'information SIG à la gestion de la qualité de l'eau d'une retenue.

Pendant la préparation du rapport sur cette étude, nous avons reçu de précieux conseils de M. David Eckhardt, du Bureau of Reclamation des États-Unis, ainsi que du Docteur Osamu Arai, Directeur Général de Konoike Construction Co., Ltd.

Nous leur exprimons ici nos très vifs remerciements pour leur aide.

G. GUERTIN  
Président du Comité de l'Environnement

---

# FOREWORD

---

The report “ Remote Sensing for Reservoir Water Quality Management ” was prepared by the Japan Commission on Large Dams (JCOLD) with the assistance of the United States Society on Dams (USSD), in response to a need identified in the ICOLD Committee on the Environment. The purpose of the report is to document the results of a three-year study carried out in Japan, which goals were to evaluate the use of remote sensing as a combined tool for identifying the water quality parameters in a reservoir and pertinent watershed characteristics for use in the management of water quality in reservoirs and releases from dams and managing the watershed of the impoundment. Water quality from large lakes, Lake Biwa and Lake Kasumigaura, were the subjects of studies with remote sensing.

This Summary Report gives the major findings of the study and acquaints the dam engineer, water project planner, and project manager an introduction to the capabilities of this new technology for better planning and operating water projects to achieve water quality goals. This summary also includes all the technical references given in the full report.

The full report, which is available from ICOLD as a CD-ROM, gives a detailed account of the results of the study including many colour Figures illustrating the use of R/S for water quality management.

This Bulletin makes it clear that the remote sensing is a suitable method to be applied to the part of the water quality management of reservoirs, though all the technology in this field is not included since the technology is in progress everyday. It is expected that new technology can be developed and applied to the water quality management of reservoirs, and plays an important role in the water quality management by the future research works.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

In this report, we summarised the results of study about the applicability of R/S method to the water quality management of reservoir through the case study made inside Japan. For summarising this report, we conducted joint study with colleagues from the United States about the utilisation of R/S and applicability of GIS information to the water quality management of reservoir.

While we prepared the report on the study during the first year, we received much advice from Mr. David Eckhardt of the United States Bureau of Reclamation, and Dr. Osamu Arai of Senior Managing Director of Konoike Construction Co., Ltd.

We would like to express our sincere thanks for their support.

G. GUERTIN  
Chairman, Committee on the Environment

---

## RÉSUMÉ

---

Depuis quelques années, on se préoccupe de plus en plus de la qualité de l'eau dans les retenues de barrage, la connaissance des conditions actuelles et la mise en œuvre de mesures d'amélioration constituant des enjeux importants. Compte tenu des grandes surfaces d'eau qui doivent être analysées afin de préciser la qualité de l'eau, les études passées, qui consistaient à observer la retenue depuis un bateau, ont requis une importante charge de travail humain. De plus, étant donné que les phénomènes liés à la qualité de l'eau concernent de grandes surfaces, la méthode utilisée jusqu'à maintenant, consistant à effectuer des mesures en des points précis de la retenue, n'a pas permis de préciser la qualité réelle de l'eau.

On pense qu'une télédétection (détection à distance – « remote sensing » (RS) en anglais), permettant de mesurer la qualité de l'eau dans toutes les parties d'un lac, d'un marais ou de toute autre masse d'eau, peut constituer une méthode pratique pour réaliser de telles études. La précision numérique des observations relatives à la qualité de l'eau, en utilisant la télédétection, est encore inférieure à celle des mesures effectuées directement à la surface de l'eau. Cependant, il est possible de tirer profit de sa capacité pour recueillir des informations sur une zone étendue afin d'évaluer de façon plus réaliste les phénomènes liés à la qualité de l'eau dans les lacs, les marais, etc. Il est également possible d'utiliser les données recueillies dans le passé et les données issues des nouvelles observations pour connaître les changements dans la répartition de la qualité de l'eau et pour mesurer les fluctuations.

Ce projet de recherche a été entrepris en vue d'étudier la faisabilité de l'utilisation de la télédétection pour l'analyse ou le contrôle de la qualité de l'eau dans les grands lacs, les marais et les autres masses d'eau au Japon. L'étude a débouché sur les résultats suivants :

1. L'analyse de la qualité de l'eau par télédétection convient parfaitement pour l'étude de la température de l'eau, de la transparence, des matières en suspension et de la turbidité.
2. C'est aussi une bonne méthode d'observation de la chlorophylle a.

En ce qui concerne l'analyse et le contrôle de la qualité de l'eau, la télédétection doit relever les défis suivants :

1. Réalisation d'observations plus fréquentes.
2. Développement de sondes spécifiques pour mesurer certains paramètres de la qualité de l'eau.
3. Établissement d'une méthode générale de travail et d'interprétation.

On espère que les résultats de ce projet de recherche pourront donner une bonne orientation aux spécialistes et gestionnaires de barrages pour ce qui est de l'acquisition économique d'informations liées à la qualité de l'eau et à la gestion des retenues en utilisant la télédétection.

---

# ABSTRACT

---

In recent years, growing concern with the problem of the quality of water in dam reservoirs has made the clarification of actual conditions and enactment of improvement measures important issues. Because of the huge surface area of the water that must be tested in order to analyze the quality of the water in the reservoir of a large dam, past studies carried out by observing the reservoir from a boat have required considerable human labor. And because water quality phenomena occur over wide areas, the past practice of performing measurements at limited points in a reservoir have not adequately clarified the real quality of its water.

It is believed that a practical way of conducting such studies would be to use remote sensing (called R/S in this Bulletin) that can measure the water quality in all areas of a lake, marsh, or other body of water. The numerical precision of water quality observations performed using R/S is still inferior to that of measurements performed directly at the water's surface, but it is possible to take advantage of its ability to gather information over a wide area in order to more realistically evaluate water quality phenomena in lakes, marshes, etc. It is also possible to use data accumulated in the past and newly observed data to measure changes in the water quality distribution and to monitor its fluctuations.

This research project was undertaken to study the feasibility of using R/S to perform water quality analysis or water quality monitoring based on the present state of R/S based water quality observations and its use for water quality analysis of large lakes, marshes, and other bodies of water in Japan. The results of the study have obtained the following conclusions.

1. Water quality analysis using R/S is highly applicable to study water temperature, transparency, suspended solids, and turbidity.
2. It is also a relatively good method of observing chlorophyll-a.

The following challenges now face R/S water quality analysis and water quality monitoring :

1. Achieving more frequent observations.
2. Need for specific water quality sensors.
3. Establishment of a general analysis method.

It is believed that the results of this research project will provide dam technologists and dam managers with good guidance regarding the economical acquisition of reservoir management information using R/S.

---

# 1. VUE D'ENSEMBLE

---

## 1.1. INTRODUCTION

Au sein de la CIGB, l'importance de la qualité de l'eau dans les retenues est bien reconnue. De la planification d'un nouveau projet, en passant par sa conception et sa construction, jusqu'au stade final de l'exploitation, la qualité de l'eau occupe une place prépondérante. L'un des aspects les plus difficiles de la gestion de la qualité de l'eau dans les retenues est le contrôle de la qualité de l'eau dans les retenues afin de déterminer si elle satisfait aux objectifs de qualité de l'eau du projet, de façon à pouvoir prendre les mesures qui s'imposent pour éviter des problèmes graves.

Du fait de la préoccupation croissante relative à la qualité de l'eau des retenues, on assiste depuis ces dernières années à un besoin pressant de comprendre la situation actuelle et de concevoir des mesures pour résoudre les problèmes liés à la qualité de l'eau. Toutefois, dans la pratique, la technique classique de contrôle de la qualité de l'eau, à savoir l'observation de la qualité de l'eau dans une cuve, nécessite beaucoup de travail pour les grandes retenues ayant une vaste superficie. Compte tenu des caractéristiques spatiales des phénomènes liés à la qualité de l'eau, la méthode classique de mesures en des points particuliers d'une retenue ne suffit pas à comprendre la qualité de l'eau d'un lac dans son ensemble.

Par contre, l'utilisation de la technologie de télédétection (détection à distance - « remote sensing » (R/S) en anglais) offre un vaste potentiel, car elle permet des contrôles de la qualité de l'eau sur toute la superficie des lacs de grandes dimensions. Bien que les données de télédétection sur la qualité de l'eau ne soient pas aussi précises que les mesures effectuées sur le site, elles fournissent une information spatiale qui aide à comprendre, de façon réaliste, les phénomènes liés à la qualité de l'eau des lacs. De plus, elles permettent de suivre et de contrôler la transition de la répartition de la qualité de l'eau, à l'aide des données d'observation tant passées que nouvelles.

Un grand nombre de satellites attendant d'être lancés très prochainement dans l'espace, la technologie de télédétection progresse tous les jours et elle devrait être demain un moyen pratique et prometteur de contrôler la qualité de l'eau.

Ce rapport présente les résultats de travaux de recherche sur une durée de trois ans, visant à identifier les outils technologiques et les procédures de télédétection que les concepteurs de barrage et les chefs de projet pourront utiliser pour mieux atteindre les objectifs de qualité de l'eau souhaités.

La recherche a porté sur les deux principaux sujets indiqués ci-dessous, dont le premier (i) et le second (ii), traitant de l'analyse empirique, font l'objet du présent Bulletin :

- (i) Étude de la situation actuelle de l'analyse de la qualité de l'eau au moyen de la télédétection.
- (ii) Création d'une base de données pour l'analyse empirique basée sur la technologie de télédétection et des informations sur les bassins fluviaux.

---

# 1. OVERVIEW

---

## 1.1. INTRODUCTION

In ICOLD the importance of for reservoir water quality is becoming well recognized. Starting with the planning of a new project and through design and construction to the final operating stage, water quality is included as an important consideration. One of the most difficult aspects of managing reservoir water quality is monitoring the water quality in the reservoir to determine if it is meeting project water quality goals so that appropriate corrective actions can be taken to avoid serious problems.

In accordance with a growing concern over the water quality of reservoirs, there has been a pressing need to understand the present condition and devise countermeasures against water-quality-related problems in these years. In practice, however, the conventional water quality monitoring technique, i.e., to observe water quality in a vessel takes a great deal of work on large-scale reservoirs with wide water surfaces. Considering the spatial characteristics of water-quality-related phenomena, to monitor individual points of a reservoir by the conventional method is not sufficient enough to understand the water quality of a lake comprehensively.

On the other hand, use of the remote sensing (hereinafter called R/S) technology has a great potential, for it allows the areawide monitoring of the water quality of large-scale lakes. Although the R/S data on water quality is not so precise as the measurement data taken on site, they can provide spatial information that helps understand water-quality-related phenomena occurring in lakes in a realistic way. Furthermore, it will become possible to follow and monitor the transition of water quality distribution by means of both past and new observation data.

With many more satellites awaiting to be launched in the near future, the R/S technology is making progress everyday and is expected to be a promising and practical means of water quality monitoring of tomorrow.

This report will present the results of a three-year research project directed at identifying the R/S technology tools and procedures dam planners, and project managers can utilize to better attain the desired reservoir water quality goals.

The research was concerned with two main topics listed below, the first (i) and second (ii) ones of which that deal with empirical analysis are reported in this paper:

- (i) Study on the present condition of R/S-based water quality analysis.
- (ii) Establishment of a database system for R/S-based empirical analysis and river basin information.

- (iii) Gestion et analyse des informations sur les bassins fluviaux au moyen de la création d'une base de données et de la mise en œuvre d'un système d'informations géographiques (SIG).

On pense que cette recherche démontre que les ingénieurs et les gestionnaires de barrages peuvent acquérir des informations sur la gestion des retenues, de façon économique, en adoptant cette technologie de télédétection. L'objet de cette approche est la gestion de la qualité de l'eau dans les grands lacs et retenues. À cette échelle, la gestion de la qualité de l'eau à l'aide de données satellitaires peut être économique.

## **1.2. OBJECTIFS ANNUELS**

Ces travaux de recherche, lancés après la réunion de 1996 du Comité CIGB de l'Environnement, ont porté sur une période de trois ans. Les objectifs de la recherche étaient, pour chaque année considérée, les suivants :

### *1) Première année – Étude de faisabilité*

Évaluation de la faisabilité de la télédétection utilisant des satellites particuliers (à savoir SPOT, NOAA et LANDSAT), au moyen d'études de cas

- Les répartitions de la température de l'eau, de la turbidité (sédiments en suspension – SS) et de la chlorophylle a ont été évaluées sur la base des données envoyées par SPOT, NOAA et LANDSAT. Des résultats favorables ont été obtenus pour les répartitions de la température de l'eau et de la turbidité, et il a été jugé possible de les utiliser également pour la répartition de la chlorophylle a.

### *2) Deuxième année – Manuel de contrôle de l'eau par télédétection*

Rédaction d'un Manuel de contrôle de l'eau par télédétection (avant-projet)

- Étude de l'applicabilité des données satellitaires antérieures
- Étude de l'applicabilité des données satellitaires nouvelles

### *3) Troisième année – Études de cas concernant l'application de la télédétection*

Étude sur l'application pratique de la gestion de la qualité de l'eau par télédétection pour un grand choix d'usages et obtention de résultats fructueux :

- Étude sur l'applicabilité des satellites existants.
- Étude sur l'applicabilité des satellites futurs.
- Étude sur l'applicabilité des satellites pour chaque usage.
- Identification des problèmes relatifs à l'application pratique sur la base d'un questionnaire.

- (iii) Management and analysis of river basin information through establishment of a database system and implementation of a geographical information system (GIS).

It is believed that this research demonstrates that dam engineers and administrators can acquire reservoir management information economically through adoption of the R/S technology. The object of this approach is the management of water quality for large lakes and reservoirs. This is the scale of water quality management where the use of satellite data can be a cost-effective technique.

## 1.2. ANNUAL GOALS

The research was a three-year project beginning after the ICOLD Committee on Environment meeting in 1996. The research objectives of each research year are :

### 1) *First year – Feasibility study*

Feasibility evaluation of R/S using particular satellites (i.e., SPOT, NOAA and LANDSAT) through case studies

- Distributions of water temperature, turbidity (SS) and chlorophyll-a were estimated based on the data sent from SPOT, NOAA and LANDSAT. Favorable results were obtained for the distributions of water temperature and turbidity, and it was found feasible to use them for the chlorophyll-a distribution as well.

### 2) *Second year – Remote sensing based water monitoring manual*

Formulation of SPOT/LANDSAT Water Quality Monitoring Manual (Draft)

- Study on the applicability of past satellite data
- Study on the applicability of new satellite data

### 3) *Third year – Case studies on application of remote sensing*

Study on the practical application of R/S-based water quality management for a wide range of purposes and production of fruitful outcomes :

- Study on the applicability of the existing satellites.
- Study on the applicability of the satellites due to be launched.
- Study on the applicability of satellites for each purpose.
- Identification of problems involved in practical application based on questionnaire survey.

---

## 2. ÉTUDE DE FAISABILITÉ

---

### 2.1. TECHNOLOGIE DE TÉLÉDÉTECTION

La télédétection est une technique mise en œuvre dans un lieu éloigné sans toucher l'objet, permettant de mesurer les ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par un objet, et d'identifier, de mesurer et d'analyser l'objet par analyse des données (Fig. 2-1-1)(\*). Les principaux termes associés sont résumés ci-après :

- I. Sonde           Appareil qui permet de mesurer les ondes électromagnétiques réfléchies ou émises par un objet (sonde multispectrale (multibande) – multispectral scanner sensor (MSS) en anglais –, caméra vidéo, caméra, etc.)
- II. Plate-forme    Endroit où la sonde est installée (satellite artificiel, avion, etc.)
- III. Bande         Plage d'ondes électromagnétiques, qui peut être mesurée par la sonde (bande visible, bande infrarouge, etc.)
- IV. Résolution    La taille au sol d'une donnée (pixel) qu'il est possible d'observer (en général)
- V. Champs d'application   Forêt, agriculture, géologie, ressources naturelles, milieu aquatique, occupation des sols, météorologie, prévention des sinistres, environnement global, etc.

Outre la télédétection, il y a une technique qui permet d'obtenir divers types d'informations traitées, utiles pour la gestion des lacs et des grands réservoirs, en disposant et en analysant les diverses informations spatiales (géographiques) de façon intégrée, y compris les zones de bassin. Cette technique (ou le système qui la met en œuvre) s'appelle le SIG (Système d'Informations Géographiques).

Avec le SIG, il est possible d'intégrer les informations sur les lacs et les grandes retenues et les surfaces des zones de bassin, obtenues par télédétection, les informations géographiques numériques relatives à l'état naturel et social des lacs et des grandes retenues et des zones de bassin, les bases de données sur la qualité de l'eau fournies par des mesures continues à des points fixes et des observations périodiques, et chaque base de données relative aux lacs et aux grandes retenues (par exemple, données de prévision de l'état du débit et de la qualité de l'eau obtenues par simulation) ; il est également possible d'élucider les phénomènes en analysant les corrélations et en combinant plusieurs catégories de données.

Il est possible d'utiliser les satellites d'observation météorologique et les satellites d'observation de la terre lancés par chaque pays, comme sources de données de télédétection. Aux États-Unis, les satellites NOAA et le LANDSAT sont des projets à long terme qui ont été lancés dans les années 70, et qui possèdent une vaste accumulation de données largement utilisables pour l'identification des phénomènes relatifs à la qualité de l'eau dans le passé. Il est également possible

---

(\*) Les Figures et Tableaux sont donnés à la fin du Bulletin.

---

---

## 2. FEASIBILITY STUDY

---

### 2.1. REMOTE SENSING TECHNOLOGY

R/S is a technique at a remote place without contacting the object to measure the electromagnetic waves reflected from or radiated by an object and identify, measure and analyze the object by data analysis (Fig. 2-1-1)(\*). Main related terms are summarized below.

- I. Sensor            The device to measure the electromagnetic waves reflected from or radiated by an object (MSS, video camera, camera, etc.)
  
- II. Platform        The place where the sensor is mounted (artificial satellite, airplane, etc.)
  
- III. Band            The range of electromagnetic waves, which can be measured by the sensor (visible band, infrared band, etc.)
  
- IV. Resolution     The size on the ground of one data (pixel) which can be observed (in general)
  
- V. Application fields    Forest, agriculture, geology, natural resources, water area environment, land use, meteorology, disaster prevention, global environment, etc.

In addition to R/S, there is technique to obtain various kinds of processed information useful for lakes and big reservoirs management by comprehensively arranging and analyzing the various spatial (geographical) information including the basin areas. This technique (or the system which implements this technique) is called GIS.

By using GIS, it is possible to integrate information of lakes and big reservoirs and surface of basin area obtained by R/S, numerical geographic information relating to the natural and social conditions at the lakes and big reservoirs and basin area, water quality database based on continuous measurement at fixed point and periodical observation and each kind of database relating to lakes and big reservoirs such as flow status and water quality prediction data obtained by a simulation, and to elucidate the phenomena by analyzing inter-relations and combining plural kinds of data.

It is possible to use the meteorological observation satellites and earth observation satellites launched by each country for the source of R/S data. In the U.S.A., NOAA satellites and LANDSAT are the long-term projects, which started in 1970's, having large accumulation of data and high usability for identifying water quality phenomena in the past. The Japanese satellites, MOS and JERS can be also used, but the operation of MOS was terminated on April 1996. High frequency

---

(\* ) The Figures and Tables are given at the end of the Bulletin.

---

d'utiliser les satellites japonais comme le MOS et le JERS, mais le MOS ne fonctionne plus depuis avril 1996. Des observations à haute fréquence sont possibles avec le SPOT (France), et l'on s'attend à ce qu'il serve amplement pour le contrôle de la qualité de l'eau.

Par ailleurs, de nombreux satellites d'observation terrestre ont été lancés ces dernières années, comme par exemple le TERRA, l'IKONOS (États-Unis), et d'autres vont être lancés dans un futur proche, comme l'ALOS (Japon), l'ORBVIEW-3 (États-Unis). Il existe également de nombreux projets de lancement de satellites à haute résolution faisant intervenir des technologies utilisées pour les satellites militaires.

## **2.2. APPLICABILITÉ DE LA TÉLÉDÉTECTION AU MILIEU AQUATIQUE**

Une recherche de la littérature mondiale concernant l'applicabilité de la télédétection à la gestion des retenues a été effectuée. Cette étude a permis d'identifier les paramètres de qualité de l'eau qui peuvent être évalués par télédétection, comme l'indique le Tableau 2-2-1.

Dans cette étude, l'applicabilité a été déterminée par la corrélation entre les données de télédétection et les données mesurées sur le site (données de terrain) de chaque élément, et l'utilité pratique des plates-formes et des sondes, etc. En général, il y a un grand nombre d'éléments qui présentent des problèmes n'ayant pas encore trouvé de solution du point de vue pratique. Dans la pratique, il y a lieu d'améliorer la précision et la stabilité des résultats obtenus en améliorant les techniques d'observation et d'analyse ainsi que les résultats d'études de cas.

## **2.3. ÉTUDE DE CAS**

L'étude a été effectuée en utilisant les données de télédétection fournies par les satellites SPOT, LANDSAT et NOAA. Les données envoyées par ces satellites ont été comparées avec celles de contrôles automatiques de la qualité de l'eau qui mesurent les paramètres de qualité de l'eau à des intervalles de une à quelques heures.

### **2.3.1. Sélection des zones d'observation**

Les deux plus grandes étendues d'eau au Japon, le Lac Biwa et le Lac Kasumigaura, ont été sélectionnées pour cette étude de cas sur la faisabilité. La situation géographique et les paramètres de base sont donnés sur la Fig. 2-3-1.

#### *1) Qualité de l'eau du Lac Biwa*

La qualité de l'eau du Lac Biwa a manifesté une rapide détérioration à partir de la première moitié des années 60 en raison de la concentration de population dans les agglomérations, mais elle a indiqué une fois une tendance à l'amélioration depuis le pic de 1972 jusqu'à la seconde moitié des années 80. Néanmoins, la qualité

observations are possible with SPOT (France), and it is highly expected to be used for water quality monitoring.

Also, many earth observation satellites have been launched in recent years for example TERRA, IKONOS (U.S.A.), and more are scheduled to be launched in the near future for example ALOS (Japan), ORBVIEWS-3 (U.S.A.). Also, there are many plans to launch high resolution satellites using military satellite technologies.

## **2.2. APPLICABILITY OF REMOTE SENSING TO WATER ENVIRONMENT**

A world-wide literature search of the usability of R/S to reservoir management was made. From this survey, the water quality parameters potentially evaluated by R/S were identified and shown in Table 2-2-1.

In this study, the applicability was determined by the correlation between R/S data and truth data of each item and the practical usability of platforms and sensors, etc. In general, there are many items, which have the problems yet to be solved when seen from the viewpoint of practical use. In the practical operation, it should be necessary to improve the accuracy and stability of obtained results by enhancing the techniques of observation and analysis as well as the results of case studies.

## **2.3. CASE STUDY**

The study was carried out with a study using R/S data from the satellites SPOT, LANDSAT, and NOAA. Data from these satellites was compared with that from automatic water quality monitors, which measures the water quality parameters at intervals from 1 to a few hours.

### **2.3.1. Selection of observation areas**

The two largest water bodies in Japan, Lake Biwa and Lake Kasumigaura, were selected for the feasibility Case study. The location and basic parameters are shown in Fig. 2-3-1.

#### *1) Water quality of Lake Biwa*

The water quality of Lake Biwa showed rapid deterioration from the first half of 1960's due to the concentration of population at the city areas, but once it has shown tendency of improvement since the peak in 1972 to the latter half of 1980's. However, the water quality there is leveling off or rather deteriorating again since

de l'eau est en train de se stabiliser, ou plutôt de se détériorer à nouveau depuis la seconde moitié des années 80. Ces dernières années, la qualité de l'eau ne cesse de donner des signes de plus en plus apparents de dégradation, avec l'apparition fréquente de fleurs d'algues et de marées rouges, ainsi que d'odeurs anormales de l'eau de ville.

## *2) Qualité de l'eau du Lac Kasumigaura*

La qualité de l'eau du Lac Kasumigaura se détériore rapidement depuis la seconde moitié des années 60, en raison du développement des installations commerciales, de l'augmentation de la population et de l'expansion de l'élevage. Actuellement, l'apparition de fleurs d'algues se multiplie, et c'est un problème qu'il faudra résoudre de toute urgence car nombreux sont ceux qui se plaignent des mauvaises odeurs.

L'analyse de la littérature publiée sur le sujet nous a permis de constater que la télédétection était applicable à la température de l'eau, à la transparence, à la turbidité, aux sédiments en suspension (SS) et à la chlorophylle a. Par contre, les exemples ont été rares et l'applicabilité peu évidente pour la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote total (AT) et le phosphore total (PT). Dans cette étude, les paramètres sélectionnés étaient : température de l'eau, turbidité, et chlorophylle a, parce qu'on connaissait la haute applicabilité de ces paramètres pour les données de télédétection.

### **2.3.2. Sélection de la plate-forme**

Pour pouvoir obtenir des données d'observations périodiques et successives, ce qui est essentiel pour le contrôle de la qualité de l'eau, et discuter de la possibilité d'identification des éléments de la qualité de l'eau, nous avons utilisé des plates-formes qui offraient les avantages d'une haute fréquence d'observation et d'une observation en bandes spectrales multiples.

Comme indiqué dans le Tableau 2-3-1, parmi les plates-formes actuellement utilisables, nous avons choisi NOAA et SPOT (demande d'ordre de programmation = observation spéciale personnalisée) qui offraient la possibilité d'une haute fréquence d'observation nécessaire pour une étude périodique de la qualité de l'eau. Nous avons fixé la période d'observation à environ un mois, et essayé de recueillir des données pour de nombreux cas, à une fréquence élevée d'observation d'une fois tous les 1 à 4 jours. Par ailleurs, nous avons utilisé LANDSAT, qui possède de nombreuses bandes d'observation et dont nous attendions une haute applicabilité à l'étude de la qualité de l'eau. Nous avons décidé d'étudier la température de l'eau avec NOAA, la turbidité et la chlorophylle a avec SPOT, et la totalité de ces éléments avec LANDSAT.

Les relations entre les données fournies par les satellites NOAA, SPOT et LANDSAT, et les données d'éléments représentatifs de la qualité de l'eau, comme il a été dit précédemment, en utilisant les données mesurées sur le site, obtenues à partir de contrôles automatiques de la qualité de l'eau, ont été analysées par corrélation avec les données de télédétection de chaque bande. Dans l'analyse de corrélation, nous avons appliqué l'analyse de régression simple en utilisant les données de chaque bande et les résultats du pourcentage des bandes, et l'analyse de

the latter half of 1980's. In recent years, the water quality troubles have become more apparent such as the frequent generation of algae blooms and red tides and abnormal smell of city water.

## *2) Water quality of Lake Kasumigaura*

The water quality of Lake Kasumigaura was deteriorated rapidly from the latter half of 1960's due to the advancement of business establishments, increase of population and expansion of stock breeders. At present, generation of algae blooms takes place and it is an urgent problem to find solution for it because many people are displeased by its abnormal smell.

From the literature review, we found that R/S is applicable to water temperature, transparency, turbidity, SS and chlorophyll-a. On the other hand, there were scarce examples and clear applicability was not found as to BOD, COD, T-N and T-P. In this study, the selected parameters were : water temperature, turbidity, and chlorophyll-a, because they were known to have high applicability using R/S data.

### **2.3.2. Selection of platform**

In order to acquire observation data periodically and successively which is essential for the water quality monitoring and to discuss the possibility to identify the water quality items, we employed platforms which had the functions of high frequency observation and multiple spectral bands observation.

As shown in Table 2-3-1, among the platforms which are currently in operation, we employed NOAA and SPOT (programming order request = customized special observation) which had the possibility of high frequency observation necessary for the periodic water quality survey. We decided the observation period to be about one month, and attempted to acquire data of many cases by high frequency observation of once in 1 - 4 days. Also, we employed LANDSAT which had many observation bands and was expected to have high applicability to the survey of water quality. We decided to investigate the water temperature by NOAA, turbidity and chlorophyll-a by SPOT and all of these items by LANDSAT.

The relation between the data from the NOAA, SPOT, LANDSAT satellites and the data of representative water quality items as mentioned before by using sea truth data obtained from automatic water quality monitor were analyzed by correlation with the R/S data of each band. In the correlation analysis, we applied single regression analysis using each band data and the results of band ratioing and multiple regression analysis using the data of multiple bands. We also discussed whether the short term change in water quality distribution pattern could be

régression multiple en utilisant les données de bandes multiples. Nous avons également examiné s'il était possible d'identifier l'évolution à court terme du schéma de répartition de la qualité de l'eau à partir du schéma d'image. Nous avons utilisé les données de NOAA et de LANDSAT pour la température de l'eau étant donné qu'ils observent les bandes infrarouges thermiques qui ont un rapport étroit avec la température de l'objet, et les données de SPOT pour la turbidité et la chlorophylle a étant donné qu'il possède des bandes allant des bandes visibles aux bandes du proche infrarouge, qui ont un rapport étroit avec ces éléments d'observation.

### **2.3.3. Résumé des résultats de l'étude de cas**

Dans l'ensemble, l'étude de cas a confirmé que la télédétection était un outil très précieux pour le contrôle des données importantes sur la qualité de l'eau. Les résultats peuvent être très utiles pour la gestion d'un lac ou d'une retenue, et du bassin versant en amont. On résume ci-après les conclusions spécifiques de l'applicabilité et de la précision des données de télédétection concernant la qualité de l'eau, telles que les a révélées l'étude de faisabilité. Le Tableau 2-3-2 montre l'applicabilité pour les éléments de qualité de l'eau.

#### *1) Température de l'eau*

On estime que la température de l'eau peut être évaluée de façon appropriée et avec une bonne précision numérique, puisque l'erreur moyenne du satellite artificiel NOAA est de moins de 1 °C et celle de LANDSAT de moins de 0,2 °C. Dans le cas de NOAA toutefois, quelques problèmes se posent, notamment du fait d'une résolution peu précise et, bien qu'il puisse convenir pour comprendre le schéma approximatif de la répartition de la température de l'eau, il est difficile d'identifier la répartition détaillée, et il est facilement perturbé par les bruits d'origine terrestre produits sur les bords du lac. Il sera nécessaire d'examiner des méthodes d'utilisation des données de NOAA qui offre une faible résolution et une fréquence élevée d'observation, ainsi que de compléter les informations recueillies en utilisant un satellite comme LANDSAT qui offre une meilleure résolution mais un cycle d'observation de fréquence moins élevée.

#### *2) Transparence, sédiments en suspension (SS) et turbidité*

On estime que ces éléments de la qualité de l'eau peuvent être identifiés avec une bonne précision numérique puisque la marge d'erreur des valeurs prédites est d'environ 20 à 40 % dans le cas de SPOT. Toutefois, on a constaté que la précision pouvait être affectée par le contenu des données mesurées sur le site (profondeur de mesure et emplacement du point de mesure, coïncidence avec le satellite, etc.) et le climat (conditions atmosphériques, etc.). En vue d'améliorer la précision et la stabilité, il sera nécessaire d'examiner la précision en rassemblant les données d'application, d'examiner les données mesurées sur le site, par exemple l'emplacement approprié des points de mesure sur le site, et de développer la méthode d'analyse de façon à supprimer les bruits, par exemple la correction atmosphérique.

#### *3) Chlorophylle a*

La précision est jugée plutôt faible comparativement à la transparence, à la teneur en sédiments en suspension et à la turbidité, puisque la marge d'erreur des

identified from the image pattern. We used the data of NOAA and LANDSAT for water temperature as they observe thermal infrared bands which have high correlation with object temperature, and the data of SPOT for turbidity and chlorophyll-a as it has the visual to near infrared bands which have close correlation with these observation items.

### **2.3.3. Summary of the result of case study**

Overall the feasibility study confirmed that R/S is a very valuable tool for the monitoring of important water quality data. The results can be very useful in managing a lake or reservoir and the upstream watershed. The following summarize the specific conclusions of the applicability and accuracy of R/S data to the water quality shown by the feasibility study. Table 2-3-2 shows applicability for water quality items.

#### *1) Water temperature*

It is considered that the water temperature can be identified adequately with satisfactory numerical accuracy as the average error of artificial satellite NOAA is within 1 °C and that of LANDSAT is within 0.2 °C. In case of NOAA, however, there are problems such that the resolution is coarse, and although it may suitable for grasping the rough pattern of water temperature distribution, it is difficult to identify the detailed distribution, and it is easily disturbed by the noise of land area at the lake shores. It would be necessary to discuss the methods to use the data of NOAA which has low resolution and high observation frequency and also to supplement the information with the use of satellite such as LANDSAT which provides high resolution with lower frequency of observation cycle.

#### *2) Transparency, SS and turbidity*

It is considered that these water quality items can be identified with adequate numerical accuracy as the average error ratio included in the predicted values is around 20% ~ 40% in case of SPOT. However, it was found that the accuracy might be deteriorated by the contents of sea truth (measuring depth and location of measuring point, coincidence with the satellite, etc.) and the climate (condition of atmosphere, etc.). In order to enhance the accuracy and stability, it is considered necessary to discuss the accuracy by accumulating the data of application, to discuss the sea truth data such as the proper location of sea truth points, and to develop the analysis method to eliminate the noises such as the atmospheric correction.

#### *3) Chlorophyll-a*

The accuracy is considered to be rather low comparing with transparency, SS and turbidity as the average error ratio included in predicted values is about

valeurs prédites est d'environ 40 à 50 % dans le cas de SPOT. Ceci est dû au fait que l'information sur la chlorophylle a comprise dans les données de télédétection est faible par rapport à celle sur la turbidité, etc., et que la sonde de SPOT ne capte pas nécessairement la bande spectrale qui convient pour l'extraction de la chlorophylle a. Outre la discussion sur les données appropriées mesurées sur le site et la méthode de suppression des bruits comme pour la turbidité, etc., il y a lieu de développer la méthode d'analyse de façon à extraire les faibles informations sur la chlorophylle a et, dans une optique à long terme, une sonde de satellite capable de capter les bandes spectrales appropriées.

#### **2.3.4. Application des informations sur la qualité de l'eau, fournies par télédétection, à la gestion des retenues**

D'après l'image de répartition de la turbidité du Lac Biwa et du Lac Kasumigaura, les sections présentant une haute turbidité sont identifiées comme des régions partielles. Elles sont considérées comme étant produites par le ramassage de graviers et le dragage de sédiments respectivement. On pense donc que la connaissance de la répartition de la turbidité peut être utilisée pour le contrôle de la diffusion des sources de contamination dans la retenue. Par ailleurs, selon l'image de répartition de la chlorophylle a, l'intensité est plus forte dans des régions partielles que dans d'autres zones. Comme ce sont des étendues d'eau fermées et de faible profondeur, on considère que la cause tient à une stagnation des eaux du lac en raison d'une mauvaise circulation. Dans le cas du Lac Kasumigaura, l'apport d'eaux usées en provenance des foyers environnants est considéré comme une autre cause de forte intensité.

Il sera possible de connaître l'évolution temporelle de la qualité de l'eau d'une retenue et de contrôler la charge des apports en provenance de l'amont, en effectuant des observations périodiques de cette manière.

En outre, on espère pouvoir construire à l'avenir un système capable de prévoir la qualité de l'eau d'une retenue en mettant en corrélation les informations concernant la qualité de l'eau fournies par télédétection avec les informations concernant le bassin, telles que la population et la structure industrielle de la zone du bassin.

S'il est possible d'utiliser l'opération d'évacuation d'eau du barrage après de fortes précipitations pour la gestion de la retenue, par exemple pour empêcher la prolifération des algues, sur la base de l'information ainsi recueillie, cela sera extrêmement utile aux ingénieurs et aux gestionnaires de barrages.

40-50 % in case of SPOT. This is because the information of chlorophyll-a included in R/S data is feeble comparing with that of turbidity, etc. and the sensor of SPOT does not necessarily capture spectral band suitable for extracting chlorophyll-a. In addition to the discussion of suitable sea truth data and the method to eliminate the noises same as turbidity, etc., it should be necessary to develop the analysis method to extract feeble information of chlorophyll-a, and in a long term view, the satellite sensor which can capture proper spectral bands.

#### **2.3.4. Application of water quality information provided by R/S to reservoir management**

According to the turbidity distribution image of Lake Biwa and Lake Kasumigaura, the portions of high turbidity are identified at partial region. They are considered to be an influence of gravel scooping and sediment dredging respectively. Therefore, it is expected that grasping of turbidity distribution can be used for monitoring the spread of contamination source in the reservoir. Also, according to the chlorophyll a distribution image, the intensity is higher at partial region than other areas. Since they are closed water area and depth is shallow, it is considered to be caused by lingering of lake water due to bad circulation. In case of Lake Kasumigaura, in-flow of waste water from surrounding households is considered to be another reason for the high intensity.

It will be possible to know the temporal change in the water quality of reservoir and to monitor in-flow load from up-stream by periodically conducting the observation in this manner.

Furthermore, it is hoped to construct a system which can predict the water quality in reservoir in the future by correlating the water quality information provided by R/S with the basin information such as population and industrial structure at the basin area.

If water discharge operation of dam after heavy rainfall can be used for the management of reservoir such as the prevention of algae growth based on the information thus collected, it would be highly helpful for the engineers and managers of dam.

---

## 3. MANUEL DE CONTRÔLE DE L'EAU PAR TÉLÉDÉTECTION

---

### 3.1. APERÇU DES TECHNIQUES

#### 3.1.1. Procédure d'introduction

Le contrôle de la qualité de l'eau par télédétection au moyen de satellites est présenté en trois étapes, comme indiqué sur la Fig. 3-1-1 :

- I. Étape 1 : Clarification qualitative de la répartition de la qualité de l'eau et son évolution dans le temps sur la base des données satellitaires collectées dans le passé.
- II. Étape 2 : Contrôle quantitatif et périodique de la qualité de l'eau à l'aide des données obtenues par des mesures effectuées à la surface du lac et des nouvelles observations réalisées par des satellites.
- III. Étape 3 : Contrôle continu en temps quasi réel de la qualité de l'eau à l'aide des données obtenues par contrôle automatique de la qualité de l'eau, et des données d'observation à cycle court fournies par des satellites.

Dans les cas où il n'existe pas de données recueillies dans le passé concernant la qualité de l'eau, par exemple dans les retenues des pays en développement, la procédure commence à l'étape 1, puis la méthode est progressivement améliorée en passant à l'étape 2, puis à l'étape 3. Dans les retenues où la gestion de l'eau est déjà effectuée sur la base de relevés périodiques de la qualité de l'eau, la procédure commence à l'étape 2, puis s'étend à l'étape 3.

Il est difficile à l'heure actuelle d'appliquer l'étape 3 (contrôle continu en temps quasi réel de la qualité de l'eau) en raison des problèmes liés à la fréquence d'observation des satellites ou au système de distribution des données satellitaires. Ce manuel n'explique pas les méthodes spécifiques. Mais avec le lancement de nouveaux satellites et l'amélioration du système de distribution, il est très probable qu'il sera possible de passer à l'étape 3 dans un proche avenir.

#### 3.1.2. Avantages et utilité de la télédétection

Une méthode de télédétection par satellite de ce genre sera utilisée comme suit pour contribuer à la gestion de la qualité de l'eau dans les retenues.

##### *1) Clarification de la qualité de l'eau dans le passé*

Si des mesures systématiques n'étaient pas exécutées, il serait impossible d'obtenir des données de mesure de la qualité de l'eau à la surface des lacs, mais les données satellitaires étant obtenues de façon périodique, il est ainsi possible de les stocker et de procéder à une analyse de la qualité de l'eau correspondant au passé.

---

## 3. REMOTE SENSING BASED WATER MONITORING MANUAL

---

### 3.1. OUTLINE OF THE TECHNIQUES

#### 3.1.1. Introduction process

Satellite R/S water quality monitoring is introduced in three stages as shown in Fig. 3-1-1 and in the following three steps.

- I. Step 1: Qualitative clarification of water quality distribution and its changes over time based on past (accumulated) satellite data.
- II. Step 2: Quantitative and periodical water quality monitoring using data obtained from lake surface measurements and new observations performed by satellites.
- III. Step 3: Quasi-real time continuous water quality monitoring using data obtained from automatic water quality monitor and short cycle observation data satellite.

In cases where no data concerning past water quality has been accumulated, at reservoirs in developing nations for example, the procedure begins at step 1, then the method is gradually upgraded to Step 2 and Step 3. And at reservoirs where water management is already performed based on periodic water quality surveys, the procedure begins at step 2, then moves on to step 3.

It is now difficult to implement step 3 (quasi-real time continuous water quality distribution monitoring) because of problems related to satellite observation frequency or the satellite data distribution system. This manual does not explain specific methods. But as new satellites are launched and the distribution system is improved, it is highly likely that it will be possible to move on to Step 3 in the near future.

#### 3.1.2. Benefits and usefulness of R/S

A satellite R/S method of this kind will be used as follows to contribute to the management of the quality of the water in reservoirs.

##### *1) Clarification of past water quality*

If systematic measurements are not performed, it would be impossible to obtain water quality measurement data at lake surfaces, but because satellite R/S data is observed periodically, it can be accumulated, permitting the analysis of past water quality.

Cela veut dire que la procédure suivante peut être utilisée :

- I. Clarification de la situation actuelle des phénomènes caractéristiques liés à la qualité de l'eau (apparition de turbidité, de fleurs d'eau, etc.) dans le passé.
- II. Clarification des changements saisonniers de la qualité de l'eau et son évolution avec le temps.
- III. Clarification des tendances continues de répartition de la qualité de l'eau (plage de pollution habituelle, etc.).
- IV. Étude de l'emplacement des points de mesure de la qualité de l'eau pour les contrôles périodiques.

### *2) Utilisation du contrôle de la qualité de l'eau*

Lorsque l'utilisation conjointe de télédétection par satellite et d'étude de la qualité de l'eau à la surface des lacs permet des contrôles périodiques de la qualité de l'eau, cela contribue au contrôle de la qualité de l'eau des retenues de la façon suivante :

- I. Remplacement d'une partie des données sur la qualité de l'eau actuellement obtenues par des méthodes d'étude classiques.
- II. Clarification des schémas de répartition de la qualité de l'eau sur de vastes superficies de réservoirs entiers.
- III. Découverte de fleurs d'eau et autres phénomènes locaux liés à la qualité de l'eau.

### *3) Utilisation pour la gestion et la préservation de la qualité de l'eau*

Si l'on rassemble les nombreux contrôles de la qualité de l'eau obtenus, on peut les utiliser de la façon suivante pour gérer et préserver la qualité de l'eau :

- I. Examen de l'emplacement actuel des contrôles de l'eau et amélioration de leur répartition.
- II. Aide à la clarification de la situation actuelle de la pollution de l'eau et à la clarification des mécanismes de pollution au moyen de l'utilisation des schémas de la qualité de l'eau.
- III. Aide à la clarification des cycles de pollution par la clarification de la situation des débits, etc.
- IV. Diffusion d'informations destinées au public et de matériaux éducatifs sur l'environnement.

## **3.2. CLARIFICATION QUALITATIVE DE LA QUALITÉ DE L'EAU À L'AIDE DES DONNÉES RECUEILLIES DANS LE PASSÉ**

### **3.2.1. Recherche de données**

Une recherche de données est effectuée pour obtenir des données appropriées sur les périodes de temps nécessaires, à partir des données satellitaires rassemblées dans le passé. Cette recherche de données est effectuée comme décrit ci-dessous.

This means it can be used in the following ways.

- I. Clarification of the actual state of typical water quality phenomena (occurrence of turbidity, water-bloom, etc.) of the past.
- II. Clarification of seasonal changes in water quality and its change over time.
- III. Clarification of continuous water quality distribution trends (range of usual pollution, etc.).
- IV. Studying the locating of water quality measurement points for periodical monitoring.

### *2) Use of water quality monitoring*

When the joint use of satellite R/S and lake surface water quality studies permit periodical water quality monitoring, it will contribute to reservoir water quality monitoring in the following ways.

- I. Replacement of part of the water quality data now obtained using conventional survey methods.
- II. Clarification of wide area water quality distribution patterns of entire reservoirs.
- III. Discovery of water-bloom and other local water quality phenomena.

### *3) Use for water quality management and preservation*

If water quality monitoring obtained at many times is accumulated, it can be used as follows to manage and preserve water quality.

- I. Review the present location of water monitors and improve their arrangement.
- II. Support the clarification of the actual state of water pollution and clarification of pollution mechanisms through the use of water quality patterns.
- III. Support for the clarification of pollution cycles by clarifying the state of flow, etc.
- IV. Release of information to the public and environmental education material.

## **3.2. QUALITATIVE CLARIFICATION OF WATER QUALITY USING PAST DATA**

### **3.2.1. Searching for data**

A data search is performed in order to obtain suitable data for necessary periods of time from accumulated satellite data. The data search is performed as described below.

### *1) Sélection du satellite et de la sonde*

Le satellite et la sonde à utiliser sont sélectionnés en fonction des dimensions du lac et des éléments de la qualité de l'eau à contrôler. Les satellites sur lesquels il est possible de compter pour fournir des données correspondant au passé sont indiqués au Tableau 3-2-1. Si l'on considère la résolution, la période de stockage des données, la fréquence des observations et les régions observées, il s'avère que le LANDSAT est généralement le meilleur choix.

### *2) Sélection de la plage*

L'emplacement et la plage des retenues à inclure dans le projet de contrôle de la qualité de l'eau sont déterminés à l'aide de cartes topographiques. En général, on trace un rectangle renfermant la plage pour spécifier la latitude et la longitude, bien que cela dépende du satellite et de l'organisme qui fournit les données. Sur la base de cette information, on soumet une requête auprès de l'organisme qui distribue les données satellitaires pour spécifier la scène satellitaire à utiliser (dans le cas de LANDSAT, il s'agit du PATH-ROW No.).

Il est possible de spécifier directement la scène satellitaire nécessaire en utilisant une carte de couverture (une carte indiquant l'emplacement de chaque scène satellitaire) comme celle qui est représentée sur la Fig. 3-2-1 pour chaque satellite.

### *3) Régulation de la période cible*

La période d'analyse cible est sélectionnée en fonction des conditions suivantes :

- I. Période d'observation du satellite et de la sonde sélectionnés.
- II. Tendances de la qualité de l'eau des retenues à observer (« Elle s'est détériorée depuis 19-- », par exemple).
- III. Thème de l'analyse (clarification de l'évolution dans le temps, des changements saisonniers, etc.).

### *4) Recherche de données*

Sur la base des spécifications déjà déterminées (sonde utilisée, numéro de scène, période), une recherche de données est réalisée. Cette recherche est effectuée soit par l'intermédiaire d'une requête soumise à l'organisme qui distribue les données sur la base des spécifications, soit par une recherche en ligne des organismes qui ouvrent leur base de données à des recherches en ligne.

La recherche s'effectue en introduisant tout d'abord une liste de couvertures nuageuses. Les scènes où le taux de couverture nuageuse est élevé (50 % et plus, par exemple), ou les scènes dont les données sont de mauvaise qualité, sont éliminées au profit d'une période considérée plus appropriée. Les scènes de la période d'observation sélectionnée sont obtenues sous forme d'images approximatives (épreuves-minutes) en vue d'une vérification finale de la présence de nuages et de la qualité des données.

#### **\* Précautions**

- I. Selon la région (régions tropicales, par exemple), il peut être extrêmement rare d'avoir des scènes présentant une faible couverture nuageuse. Étant donné qu'il y a des cas où, malgré une forte couverture nuageuse, l'air est clair au-dessus des retenues, il est nécessaire d'utiliser une image approximative pour vérifier la situation.

### *1) Selection of satellite and sensor*

The satellite and sensor to be used are selected according to the size of the lake and the water quality items to be monitored. Satellites which can be counted on to provide accumulated past data are shown in Table 3-2-1. Considering resolution, the period when data has been accumulated, observation frequency, and regions observed, the LANDSAT is generally the most appropriate choice.

### *2) Selecting the range*

The location and range of the reservoirs to be included in the water quality monitoring project is determined using topographical maps. A rectangle including the range is usually set to clarify range of latitude and longitude, although this depends upon the satellite to be used and the organization that will provide the data. Based on this information, a request is submitted to a satellite data distribution organization to clarify the satellite scene to be used (in the case of LANDSAT, it is PATH-ROW No.).

And it is possible to directly clarify the needed satellite scene using a coverage map (one indicating the location of each satellite's scene on a map) like the one shown in Fig. 3-2-1 for each satellite.

### *3) Setting the target period*

The analysis target period is selected considering the following conditions.

- I. Observation period of the selected satellite and sensor.
- II. Water quality trends in the reservoirs to be observed (" It has deteriorated since 19--." for example.)
- III. Theme of the analysis (clarification of change over time, seasonal change, etc.)

### *4) Searching for data*

Based on the specifications already determined (sensor used, scene number, period), a data search is carried out. This data search is performed either by submitting a request to a data distribution organization based on these specifications, or searching on-line at those organizations which have opened their data base to on-line data searches.

A search is conducted by first entering a cloud cover list. Scenes where the cloud cover ratio is high (50 % or more for example) or scenes whose data is poor quality are eliminated to select a time period which is considered suitable. Scenes of the selected observation period are obtained as rough images (Quick Look Images) for a final check for the presence of clouds and the quality of the data.

### **\* Precautions**

- I. Depending on the region (tropical regions for example), scenes with little cloud cover may be extremely rare. Because there are cases where despite considerable cloud cover, the air is clear above the reservoirs, it is necessary to use a rough image to check for this situation.

- II. La recherche des données d'observation s'effectue en soumettant une demande aux stations de réception et aux organismes de distribution des données dans les différents pays. Pour les informations de LANDSAT, la source est EOSAT (États-Unis), pour SPOT, SPOT IMAGE (France), et pour NOAA, NOAA (États-Unis).

### **3.2.2. Acquisition des données satellitaires**

Après cette recherche de données, les données nécessaires sont sélectionnées et commandées. Les données complètes sont reçues après traitement par l'organisme de distribution des données.

#### *1) Sélection et commande des données*

Les données satellitaires que l'on souhaite obtenir sont sélectionnées à partir des résultats de la recherche de données satellitaires décrite ci-dessus. La commande s'effectue en spécifiant les dates d'observation, les catégories de données (sondes), le niveau de traitement, le support, etc., sur le formulaire prévu à cet effet. Ce formulaire est ensuite envoyé à l'organisme de distribution des données.

#### *2) Préparation des données fournies*

L'organisme de distribution des données prépare les données finales à fournir en fonction de la commande, en effectuant les opérations suivantes sur les données d'origine : (1) correction radiométrique en fonction des caractéristiques de la sonde, (2) correction géométrique approximative en se basant sur les données d'altitude du satellite, etc., (3) et, si nécessaire, correction géométrique de précision à l'aide de points de référence.

#### *3) Acquisition des données satellitaires*

L'organisme de distribution des données envoie les données ainsi préparées à l'organisme utilisateur.

#### **\* Précautions**

- I. Plusieurs niveaux de traitement des données satellitaires sont disponibles : l'utilisateur commande le niveau souhaité en fonction de ses besoins. La correction de la distorsion géométrique, en particulier, peut être 1) non effectuée, 2) effectuée de façon approximative, 3) effectuée avec précision à partir des points de contrôle, ou 4) effectuée strictement en fonction de la topographie (dans le cas de LANDSAT, données de cartographie thématique – thematic mapper – TM – en anglais – fournies par EOSAT). Étant donné que cela ne pose pas de problème de consacrer beaucoup de temps pour la préparation des données destinées à l'analyse de données anciennes, il est recommandé, lorsque cela est possible, de demander 3) et 4) de façon à ne pas avoir à effectuer soi-même la correction géométrique de précision après la réception des données. Néanmoins, il faudra faire attention car, selon le satellite ou la période, il peut arriver que le niveau de traitement ne soit pas préparé.
- II. Étant donné qu'il est possible d'utiliser une bande audio numérique (digital audio tape – DAT – en anglais), un CD-ROM ou une bande magnétique comme

- II. Observation data searching is done by submitting an inquiry to receiving stations and data distribution organizations in various nations. For LANDSAT information, the source is EOSAT (US), for SPOT, SPOT IMAGE (France), and for NOAA, NOAA (US).

### **3.2.2. Acquiring satellite data**

Based on the data search, the needed data is selected and ordered. The complete data is acquired after processing by the data distribution organization.

#### *1) Choosing and ordering the data*

The satellite data to be acquired is selected based on the results of the above-described satellite data search. An order specifying the observation dates, data categories (sensors), processing level, medium, etc. on the prescribed form. This form is then submitted to a data distribution organization.

#### *2) Preparing the data provided*

The data distribution organization prepares the final data to be provided in accordance with the order by performing the following operations on the original data: (a) radiometric correction accounting for sensor characteristics, (b) approximate geometric correction based on satellite attitude data etc., (c) precision geometric correction using reference points as necessary.

#### *3) Acquiring the satellite data*

The data distribution organization mails the data which has been prepared to the user organization.

#### **\* Precautions**

- I. Several levels of satellite data processing are available; users order the level suited to their purpose. The correction of the geometric distortion in particular, can be 1) uncorrected, 2) roughly corrected, 3) precisely corrected based on control points, or 4) strictly corrected considering topography (in the case of LANDSAT, TM data provided by EOSAT). Because allowing plenty of time for the preparation of data to be used for past data analysis does not present problems, if possible, 3) and 4) should be completed so that after the data has been acquired, precision geometric correction will not be necessary.

But caution is necessary because depending on the satellite or time period, in some cases its processing level is not prepared.

- II. Because DAT, CD-ROM, or magnetic tape can be used as the recording medium for the data, it is obtained in the medium best suited to the analysis

support d'enregistrement des données, on les obtiendra sur le support le mieux adapté au système d'analyse. Toutefois, certains organismes de distribution des données ne fournissent les données que sur bande magnétique. Et il faudra faire attention car, dans certains cas, le format des données peut différer.

### **3.2.3. Prétraitement des données satellitaires**

Une fois les données acquises, elles sont prétraitées afin de les préparer pour l'analyse visant à déterminer la qualité de l'eau. Les valeurs des données satellitaires obtenues pour une concentration de la qualité de l'eau donnée varient selon les saisons et en fonction des conditions atmosphériques existant pendant les observations. Le but principal de ce traitement est d'intégrer les données obtenues à des heures différentes afin de corriger les valeurs et permettre la comparaison de la qualité de l'eau à des heures différentes sur des normes unifiées.

#### *1) Préparation d'une image en fausse couleur*

La première étape de ce prétraitement est la préparation d'une image en fausse couleur, comme celle de la Fig. 3-2-2, pour clarifier la qualité des données collectées par le satellite, les effets de la couverture nuageuse et la situation générale de la répartition de la qualité de l'eau. Cette image en fausse couleur est préparée en attribuant les trois couleurs primaires, le rouge, le vert et le bleu, à des bandes multiples pour effectuer une composition de couleur. Dans le cas des données LANDSAT de cartographie thématique par exemple, les couleurs sont combinées comme suit : bande 2 : bleu, bande 3 : vert, et bande 4 : rouge.

#### *2) Mesure des valeurs des données à des points de référence*

Les valeurs des données de référence sont mesurées afin d'intégrer les données satellitaires obtenues à divers moments dans le temps. Les emplacements terrestres, où les conditions sont supposées rester constantes dans le temps, sont sélectionnés sur une carte et l'image en fausse couleur, et les valeurs sont mesurées par bande à cet emplacement en se basant sur des données satellitaires pour des heures différentes.

### **3.2.4. Déduction et analyse des tendances dans la répartition de la qualité de l'eau**

Les données dont on a intégré les valeurs sont utilisées pour une analyse destinée à dégager les tendances dans la répartition de la qualité de l'eau (schémas de répartition à divers moments, schémas de variation de la qualité de l'eau, etc.).

#### *1) Sélection de la bande à utiliser*

La bande la plus appropriée pour la représentation des indices de qualité de l'eau est sélectionnée. Pour une analyse faisant intervenir des données antérieures, comme dans le cas présent, la sélection part essentiellement du principe qu'il n'existe pas de données sur la qualité de l'eau pour le lac, et qu'il est impossible d'effectuer l'analyse de correction nécessaire pour la quantification en utilisant les mesures de qualité de l'eau effectives. C'est pourquoi les éléments qu'il est possible d'analyser et les bandes qu'il est possible d'utiliser sont limités à deux éléments, comme le montre le Tableau 3-2-2. La bande est sélectionnée parmi ces bandes en tenant compte de facteurs comme la qualité des images.

system. However, some data distribution organizations provide data only in the form of magnetic tape. And caution is necessary because in some cases the data formats differ.

### **3.2.3. Preprocessing satellite data**

When the data has been acquired, it is preprocessed to prepare it for the analysis performed to clarify the water quality. Satellite data values obtained for a particular water quality concentration vary from season to season and under the effects of atmospheric conditions during observations. The main purpose of this processing is the integration of data obtained for different times in order to correct its values to permit comparisons of the water quality at different times based on unified standards.

#### *1) Preparing the false color image*

As the first step in this preprocessing, a false color image such as that shown in Fig. 3-2-2 is prepared in order to clarify the quality of the satellite data, effects of the cloud cover, and the general state of water quality distribution. The false color image is prepared by allotting the three primary colors, red, green, and blue to multiple bands to perform color composition. In the case of LANDSAT TM data for example, the colors are combined as : Band 2 : blue, Band 3 : green, and Band 4 : red.

#### *2) Measuring data values at reference points*

Reference data values are measured in order to integrate the satellite data obtained at many different times. Ground locations where conditions are assumed to remain constant at all times are selected on a map and the false color image, and the values are measured by band at this location based on the satellite data for different times.

### **3.2.4. Abstraction and analysis of water quality distribution trends**

Data whose values have been integrated is used to perform analysis to find water quality distribution trends (distribution patterns at different times, water quality fluctuation patterns, etc.).

#### *1) Selecting the band to be used*

The band which is most appropriate for the representation of water quality indices is selected. For analysis using past data as in this case, the selection is basically premised on there being no measured water quality data for the lake, and it is impossible to perform correlation analysis needed for quantification using actual measured water quality. For this reason, the items which can be analyzed and bands used are limited to the two items shown on Table 3-2-2. The band to be used is selected from among these bands considering factors such as image quality.

## *2) Déduction des tendances moyennes dans la répartition de la qualité de l'eau*

Les données satellitaires déduites pour divers moments dans le temps sont utilisées pour dégager les tendances moyennes dans la répartition de la qualité de l'eau. Les données concernant un certain nombre d'années ou les données saisonnières d'une même année sont collectées pour préparer une image représentant le schéma relatif des valeurs. Les images ainsi obtenues sont ensuite utilisées pour déduire les degrés moyens et relatifs des tendances de répartition de turbidité et de température, excluant les variations d'une année sur l'autre ou les variations saisonnières. La Fig. 3-2-3 donne un exemple d'image de répartition moyenne de la qualité de l'eau.

### **3.2.5. Utilisation des résultats de l'analyse des tendances de la qualité de l'eau**

À partir des résultats de la déduction des tendances dans la répartition de la qualité de l'eau obtenues par analyse, la répartition de la qualité de l'eau et ses tendances de variation sont clarifiées et appliquées à la préparation de plans pour la gestion et le contrôle régulier de la qualité de l'eau des retenues.

#### *1) Clarification des tendances de variation de la qualité de l'eau (détérioration)*

La situation des variations de la qualité de l'eau dans le temps (détérioration ou non, et, si oui, étendue, etc.) est étudiée en se basant sur les résultats de l'analyse de la variation dans le temps. Les résultats peuvent servir à déterminer le degré d'urgence des mesures d'amélioration de la qualité de l'eau des retenues et d'un contrôle précis de la qualité de l'eau, ainsi que les régions prioritaires pour la mise en œuvre de ces mesures et de ces activités de contrôle.

#### *2) Clarification des tendances continues de répartition de la qualité de l'eau sur une vaste superficie*

Les schémas de répartition de la qualité de l'eau dans les retenues changent constamment sous l'effet des changements de saison, mais l'analyse décrite ci-dessus permet de dégager des tendances continues dans la répartition de la qualité de l'eau en supprimant ces variations. Cela veut dire qu'il est possible de sélectionner des zones prioritaires pour le contrôle de la qualité de l'eau, comme décrit en (1).

#### *3) Application à la détermination de l'emplacement des points de mesure de la qualité de l'eau*

Les résultats de l'étude des tendances moyennes de répartition de la qualité de l'eau, des tendances de variation de la qualité de l'eau, etc. sont utilisés pour déterminer les emplacements des points de mesure de la qualité de l'eau permettant un contrôle régulier de la qualité de l'eau à l'étape 2. Les points de mesure de la qualité de l'eau sont sélectionnés en fonction des critères suivants :

- I. En se référant à la répartition moyenne de la qualité de l'eau, sélectionner des points répartis, de façon appropriée, entre les emplacements présentant une forte concentration et ceux présentant une faible concentration.
  - Pour une analyse de corrélation appropriée avec les données de télédétection.
  - Pour clarifier la plage de répartition de la qualité de l'eau sur toute la retenue.
  - Pour déterminer l'emplacement des points de mesure dans les eaux prioritaires (pollution des eaux évidente).

## *2) Abstracting average water quality distribution trends*

The abstracted satellite data for different time periods is used to find the average water distribution trends. Data for a number of different years or seasonal data for a single year are accumulated to prepare an image representing the relative pattern of the values. The images obtained in this way are used to abstract average and relative degrees of turbidity and temperature distribution trends which exclude year-to-year or seasonal fluctuations. Fig. 3-2-3 is an example of an average water quality distribution image.

### **3.2.5. Using the results of the analysis of water quality trends**

Based on the results of the abstraction of water quality distribution trends obtained through analysis, the water quality distribution and its fluctuation trends are clarified and applied to the preparation of plans for reservoir water quality management and regular monitoring.

#### *1) Clarifying water quality fluctuation (deterioration) trends*

The state of fluctuations over time of water quality (deteriorating or not, if so, the range, etc.) is clarified based on the results of the abstraction of fluctuation over time. The results can be used to determine the degree of urgency of reservoir water quality improvement measures and accurate water quality monitoring and priority regions for the implementation of such measures and monitoring activities.

#### *2) Clarifying continuous wide area water quality distribution trends*

Reservoir water quality distribution patterns are constantly changing under the effects of the changing seasons, but the analysis described above permits the clarification of continuous water quality distribution trends by eliminating these fluctuations. This means it is possible to select priority regions for water quality monitoring as described in (1).

#### *3) Application to the locating of water quality measurement points*

The results of the study of average water quality distribution trends, water quality fluctuation trends, etc., are used to determine appropriate water quality measurement locations needed to carry out regular water quality monitoring at Stage 2. The water quality measurement points are selected in accordance with the following requirements.

- I. Referring to the average water quality distribution, select points evenly distributed between high and low concentration locations.

For suitable correlation analysis with the R/S data.

To clarify the water quality distribution range throughout an entire reservoir.

To locate the measurement points in priority waters (conspicuous water pollution).

II. En se référant aux variations saisonnières de la qualité de l'eau, sélectionner les emplacements où des variations considérables se produisent.

Pour clarifier le phénomène de variation de la qualité de l'eau.

Étude de la concentration temporelle des mesures de la qualité de l'eau (forte concentration là où le changement est important).

### **3.3. CONTRÔLE PÉRIODIQUE QUANTITATIF DE LA QUALITÉ DE L'EAU À PARTIR DE NOUVELLES DONNÉES D'OBSERVATION**

*Remarque :* Pour la procédure d'ensemble du contrôle, voir l'organigramme joint à la fin du *Bulletin*.

#### **3.3.1. Préparation d'un plan d'observation**

Avant le début des observations, un plan précisant le programme d'observation, etc., est préparé. Le plan d'observation est établi en procédant comme suit. Dans le cas présent, on suppose que l'observation et l'analyse seront effectuées en utilisant LANDSAT, SPOT et NOAA : satellites actuellement en service et dont les données sont disponibles sur une base continue.

##### *1) Détermination des jours d'observation (période)*

Selon la fréquence d'observation nécessaire, choisir soit LANDSAT, qui offre un long cycle d'observation, soit SPOT + NOAA, qui offrent des cycles d'observation courts (voir le point 1 du Tableau 3-3-1). Les jours d'observation sont spécifiés comme suit, en fonction du satellite :

LANDSAT, NOAA : En raison de la régularité de leurs observations, les calendriers d'observation sont obtenus auprès des organismes qui reçoivent et distribuent les données satellitaires, et ils sont utilisés pour spécifier les jours d'observation.

SPOT : Comme il n'effectue pas d'observations régulières, seules les époques nécessaires sont sélectionnées (en particulier, au cours de l'été, etc., lorsque la pollution de l'eau est plus importante), puis une demande d'observation (demande de programmation) est faite et le programme est préparé.

##### *2) Présentation d'une demande d'observation (SPOT, IRS à l'heure actuelle)*

Comme mentionné ci-dessus, si l'on sélectionne SPOT, une demande d'observation est soumise et les observations s'effectuent uniquement pour la période demandée. Lorsque la faisabilité des observations a été confirmée par l'organisme qui reçoit et distribue les données satellitaires (en concurrence avec d'autres demandes d'observation, etc.), la date et l'heure d'observation sont déterminées et la demande soumise. Il y a deux sortes de demande d'observation, le service rouge et le service bleu, en fonction de l'urgence des observations. Sélectionner le service en fonction des besoins.

*Service rouge :* L'observation confère un degré élevé de priorité, et elle permet une observation continue de 1 à 4 jours, mais elle est très chère.

- II. Referring to seasonal water quality fluctuations, select locations where considerable fluctuation occurs.

To clarify the water quality fluctuation phenomenon.

Study of temporal concentration of water quality measurements (high concentration where the change is great).

### **3.3. QUANTITATIVE PERIODICAL WATER QUALITY MONITORING BASED ON NEW OBSERVATION DATA**

*Note*: See the flow chart attached at the end of the *Bulletin* for the overall monitoring procedure.

#### **3.3.1. Preparing an observation plan**

Before observations begin, an observation plan stipulating the observation schedule, etc. is drafted. The observation plan is prepared in accordance with the following procedure. Here, it is assumed that the observation and analysis will be performed using LANDSAT, SPOT, and NOAA: satellites now in service and whose data is available on a continuous basis.

##### *1) Setting the observation days (period)*

Depending on the necessary observation frequency, either the LANDSAT, which provides a long observation cycle or the SPOT + NOAA, which have short observation cycles is chosen (item 1, Table 3-3-1). The observation days are set as follows according to the satellite used:

LANDSAT, NOAA: Because they perform regular observations, their observation calendars are obtained from organizations which receive and distribute the satellite data and used to set the observation days.

SPOT: Because it does not perform regular observations, only the necessary times are selected (particularly in the summer etc. when water pollution is severe), a request for observations is submitted (programming request), and the schedule is prepared.

##### *2) Submitting an observation request (SPOT, IRS in these days)*

As stated above, when SPOT has been selected, an observation request is submitted and observations performed only in the period requested. After the feasibility of the observations has been confirmed with the organization which receives and distributes satellite data (in competition with other requests for observations, etc.), the final observation date and time are determined and the request is submitted. There are two kinds of observation request called red service and blue service based on the urgency of the observations. The type submitted is selected according to necessity.

*Red service*: The observation is high priority, and a continuous observation can be performed for 1 to 4 days, but it is expensive.

*Service bleu* : L'observation confère un faible degré de priorité, et bien souvent elle n'est pas possible si d'autres demandes portent sur les mêmes heures (la fréquence d'observation est extrêmement faible), mais elle n'est pas coûteuse.

#### \* **Précautions**

Les organismes qui reçoivent et distribuent les données satellitaires sont indiqués ci-après. LANDSAT et SPOT ont des stations de réception réparties sur 10 à 20 pays dans le monde, comme le montre la Fig. 3-3-1, mais les observations ne sont pas possibles dans quelques pays (voir le point 2 du Tableau 3-3-1).

LANDSAT : Stations de réception dans divers pays et Société EOSAT (États-Unis). (Au Japon, NASDA, RESTEC (Centre Japonais de Technologie de Télédétection) Les observations ne sont pas possibles en Afrique, en Russie, etc.

NOAA : Stations de réception dans divers pays et Société NOAA (États-Unis). (Au Japon, Association Japonaise de Météorologie, etc.). Il couvre le monde entier.

SPOT : Stations de réception dans divers pays et IMAGE SPOT (France). (Au Japon, NASDA, RESTEC). Il peut couvrir le monde entier en fonction de l'enregistreur, mais les observations ne sont pas possibles dans certaines régions pour des raisons de mauvais fonctionnement de l'enregistreur.

### **3.3.2. Conduite des observations**

Les observations des données satellitaires et l'étude de la qualité de l'eau s'effectuent en fonction du plan d'observation.

#### *1) Observations des données satellitaires*

Essentiellement, ce sont les organismes recevant et distribuant les données satellitaires qui effectuent cette étape. L'utilisateur a pour seul rôle de prévoir les circonstances fortuites (changement de dernière minute du calendrier d'observation, etc.).

#### *2) Étude de la qualité de l'eau*

Pendant que s'effectuent les observations par satellite, à la surface du lac, des échantillons d'eau sont prélevés et analysés afin d'étudier la qualité de l'eau. Les éléments de la qualité de l'eau mesurés sont les éléments suivants qui peuvent être clarifiés par télédétection au moyen de satellites (voir le point 3 du Tableau 3-3-1) et qui représentent la qualité de l'eau d'un lac ou d'un marais :

*Température de l'eau* : Indice qui traduit les phénomènes de débit et le milieu de l'habitat des organismes vivants d'un lac ou d'un marais.

*Sédiment en suspension (SS)* : Indice qui représente le niveau de pollution inorganique.

*Chlorophylle a* : Indice qui représente le niveau de pollution organique.

Les emplacements des prélèvements d'échantillons sont vérifiés par le système GPS, etc., lorsque les échantillons d'eau sont prélevés. L'étude de la qualité de l'eau peut être effectuée de façon continue par des stations de mesure automatique,

*Blue service* : The observation is low priority and in many cases it can not be performed if others are competing for the time (observation frequency is extremely low), but it is not as expensive.

**\* Precautions**

I. The following are the organizations which receive and distribute satellite data. LANDSAT and SPOT receiving stations are located in between 10 and 20 countries around the world as shown in Fig. 3-3-1, but observations are not possible in some countries (item 2, Table 3-3-1).

LANDSAT : Receiving stations in various nations and the EOSAT Company (U.S.) (In Japan, NASDA, RESTEC (R/S Technology Center of Japan)). Observations are not possible in Africa, Russia, etc.

NOAA : Receiving stations in various nations and the NOAA (U.S.) (In Japan, Japan Weather Association, etc.) .It covers the entire world.

SPOT : Receiving stations in various nations and SPOT IMAGE (France) (In Japan, NASDA, RESTEC). It can cover the entire world according to the recorder, but observations are impossible in some regions because of a recorder malfunction.

### **3.3.2. Conducting observations**

The satellite data observations and water quality survey are performed in accordance with the observation plan.

#### *1) Satellite data observations*

Basically, organizations which receive and distribute satellite data handle this step. The users only have to plan for unexpected circumstances (last minute change of the observation schedule etc.).

#### *2) Water quality survey*

At the same time as the satellite observations are in progress, at the surface of the lake, water samples are taken and analyzed to perform a water quality survey. The water quality items measured are the following items which can be clarified by satellite R/S (item 3, Table 3-3-1) and which represent the water quality of a lake or marsh.

*Water temperature* : An index which reveals the flow phenomena and living organism habitat environment of a lake or marsh.

*SS* : Index which represents the inorganic pollution level.

*Chlorophyll-a* : Index which represents the organic pollution level.

The sampling locations are checked by GPS etc. when the water samples are taken. The water quality survey can be performed continuously by automated measuring stations ; a procedure which saves labor because sampling and analysis at

procédure qui économise de la main-d'œuvre parce que le prélèvement d'échantillons et l'analyse à la surface du lac ne sont pas nécessaires. Mais l'indice SS ne pouvant être mesuré par une station automatique, on utilisera la turbidité à la place.

**\* Précautions**

- I. Il faudra effectuer le plus grand nombre possible de mesures de la qualité de l'eau. Mais quand il n'est pas possible de mesurer plusieurs échantillons, et si une baisse de la précision est tolérée, on pourra effectuer l'analyse sur la base de 5 ou 6 mesures. Dans ce cas, les emplacements de mesure devront être sélectionnés en faisant particulièrement attention aux points suivants (Fig. 3-3-2) :
  - Les valeurs mesurées pour chaque élément de la qualité de l'eau doivent porter sur une large plage (répartir, de façon appropriée, la plage allant des plus fortes aux plus faibles concentrations).
  - La composante de bruit de la réflexion sur le fond du lac, etc., doit être située à un endroit non compris dans les données satellitaires.
  - Les emplacements doivent être répartis, de façon appropriée, sur toute la surface du lac.
- II. Les mesures de la qualité de l'eau dépendent des propriétés du lac (vitesse de changement du courant dans le lac, etc.), mais elles devront être effectuées sur une période de temps aussi courte que possible (au moins dans l'espace d'une journée) durant la période d'observation par satellite. Dans le cas d'un grand lac dont la traversée en bateau durerait longtemps, l'opération de prélèvement des échantillons d'eau devra être effectuée par plusieurs équipes de prélèvement.
- III. Les échantillons d'eau devant être prélevés en même temps que les observations par satellite, le coût du personnel attendant au sol des conditions météorologiques favorables monte en flèche, en particulier avec SPOT, NOAA et les autres systèmes à haute fréquence d'observation. L'installation de stations de mesure automatique devient alors rentable en fonction de la fréquence d'observation nécessaire.

### **3.3.3. Confirmation des résultats d'observation**

Lorsque les observations par satellite sont terminées, les données sont vérifiées pour s'assurer qu'elles sont bonnes. En fonction du satellite, quelques jours après les observations, une liste de couverture nuageuse est préparée et, 1 à 2 semaines après les observations, une image aux contours grossiers (épreuve-minute) est préparée. Lorsque ces documents sont obtenus, les données sont vérifiées. Si les données ne sont pas satisfaisantes (trop forte couverture nuageuse, etc.), un autre calendrier d'observation est établi pour recommencer les observations.

## **3.4. ACQUISITION DES DONNÉES SATELLITAIRES**

Sur la base de la confirmation des résultats des observations, on commande les données satellitaires, et les données sont fournies après avoir été traitées par l'organisme de distribution des données.

the lake's surface are not necessary. But because SS can not be measured by an unmanned measuring station, a measurable turbidity is used as a substitute.

**\* Precautions**

- I. As many water quality measurements as possible should be performed. But when it is impossible to measure many samples, if allowance is made for the decline in precision, it is possible to perform analysis based on 5 or 6 measurements. In this case, the measurement locations must be selected with careful attention paid to the following points (Fig. 3-3-2).
  - The measured values for each water quality item must have a wide range (the range from high concentration to low concentration must be distributed evenly).
  - The noise component of the lake bottom reflection etc. must be at a location not included in the satellite data.
  - The locations must be evenly distributed over the entire lake surface.
  
- II. The water quality measurements depend upon the properties of the lake (speed of change in lake current velocity etc.), but they should be performed in as short a time period as possible (at least within a single day) within the satellite observation period. In the case of a large lake which would take a long time to cross by boat, the water sampling work must be done by a number of sampling teams.
  
- III. Because the water samples must be taken at the same time as the satellite observations, the cost of standing by watching for clear weather soars, particularly when using SPOT, NOAA or other high frequency observation system. The installation of automatic measurement stations is effective depending on the observation frequency necessary.

**3.3.3. Confirming observation results**

When the satellite observations have been completed, the data is checked to make sure it is good data. Depending on the satellite, a few days after the observations a cloud cover list is prepared, and 1 to 2 weeks after the observations, a rough outline image (quick look) is prepared. When these are obtained, the data is checked. If the data is unsatisfactory (too much cloud cover, etc.), another observation date is scheduled and the observations are repeated.

**3.4. ACQUIRING SATELLITE DATA**

Based on the confirmation of the observation results, an order is placed for the satellite data to be obtained, and it is provided after it is processed by the data distribution organization.

## **1) Choix et commande des données**

En se basant sur les résultats de la confirmation de l'image épreuve-minute comme expliqué ci-dessus, on sélectionne les données satellitaires à commander. Ces données sont commandées à l'organisme de distribution des données mentionné ci-dessus à l'aide du formulaire de commande spécifié.

## **2) Traitement de base des données satellitaires et préparation des données à fournir**

Ces tâches sont généralement effectuées par l'organisme de réception et de distribution des données satellitaires. Il effectue les traitements suivants pour préparer les données qui ont été commandées :

- I. Correction radiométrique en fonction des caractéristiques de la sonde  
Les éléments de détection des sondes installées sur les satellites sont sujets à de faibles variations de leurs performances et à des modifications dans le temps, de sorte que les propriétés des données obtenues varient en fonction des éléments utilisés. Les données d'observation sont intégrées et normalisées en fonction des valeurs d'observations, etc. de lampes standard montées sur chaque satellite.
- II. Correction géométrique approximative basée sur les données de position du satellite, etc.  
Les images qui ont été observées renferment des distorsions géométriques complexes et systématiques provoquées par les changements de position du satellite. En se basant sur les données de position du satellite obtenues pendant les observations, ces distorsions systématiques sont éliminées afin d'effectuer une correction géométrique approximative respectant largement les coordonnées au niveau du sol.
- III. Préparation des données à fournir  
Pour pouvoir fournir aux utilisateurs des données avec un traitement de base achevé, les données sont enregistrées sur bande magnétique, bande audionumérique (DAT), CD-ROM ou tout autre support magnétique, qui est alors envoyé à l'utilisateur.

## **3) Obtention des données satellitaires**

Les données préparées comme décrit en (2) ci-dessus sont obtenues auprès des divers fournisseurs. À ce moment-là, elles sont envoyées par la poste ou par toute autre méthode de distribution physique.

### **\* Précautions**

- I. À l'heure actuelle, il faut entre deux semaines et deux mois pour que les utilisateurs reçoivent les données satellitaires qui leur sont envoyées par des organismes implantés au Japon ; pour les recevoir de l'étranger, il faut plusieurs mois, selon la station de réception. Ceci rend difficile l'obtention de données représentant une situation récente.
- II. Le support sur lequel les données sont fournies peut, selon l'organisme qui les fournit et le satellite, être limité (par exemple, bande magnétique seulement).

### **1) Choosing and ordering the data**

Based on the results of the confirmation of the Quick Look Image described above, the satellite data to be ordered is selected. This data is ordered from the satellite data distribution organization mentioned above using the stipulated order form.

### **2) Basic processing of the satellite data and preparation of the data to be supplied**

These tasks are usually performed by a satellite data receiving and distribution organization. They carry out the following processes to prepare the data which has been ordered.

- I. Radiometric correction accounting for sensor characteristics  
The sensing elements of sensors installed on satellites are subject to slight performance variation and change over time, so that the properties of data obtained vary according to the elements used. Observation data is integrated and standardized in accordance with the observation values etc. of standard lamps mounted on each satellite.
- II. Approximate geometric correction based on satellite attitude data, etc.  
The images which have been observed include systematic complex geometric distortions caused by changes in the attitude of the satellite. Based on satellite attitude data obtained during the observations, these systematic distortions are eliminated in order to perform approximate geometric correction largely conforming to ground level coordinates.
- III. Preparation of the data to be supplied  
In order to provide users with data which has completed basic processing, the data is recorded on magnetic tape, DAT, CD-ROM or other magnetic media, which is then sent to users.

### **3) Obtaining the satellite data**

The data prepared as described in (2) above is obtained from the various supply organizations. At this time, it is delivered by post or other physical distribution method.

#### **\* Precautions**

- I. Under present circumstances, it takes between two weeks to two months for users to obtain satellite data from organizations in Japan, and obtaining it from overseas can take several months depending on the receiving station. This makes it difficult to obtain data representing recent conditions.
- II. The media on which the data is supplied may, depending on the organization providing it and the satellite, be limited (only magnetic tape for example).

### **3.5. PRÉTRAITEMENT DES DONNÉES SATELLITAIRES**

Les données satellitaires ainsi obtenues renferment divers types de bruits qui sont supprimés par prétraitement pour améliorer la précision des évaluations de la qualité de l'eau à partir de ces données. Le prétraitement effectue les corrections suivantes.

#### **1) Correction géométrique précise à l'aide de points de contrôle**

La précision d'emplacement obtenue à l'aide de la correction géométrique approximative effectuée par l'organisme recevant et distribuant les données satellitaires est un peu faible (erreur d'environ 1 km), de sorte que des erreurs peuvent se produire au cours de l'analyse de corrélation avec les valeurs de qualité de l'eau mesurées. Comme le montre la Fig. 3-5-1, on utilise des points de contrôle au sol, qui clarifient la correspondance entre les données satellitaires et une carte, pour effectuer la correction géométrique précise nécessaire afin que les données satellitaires soient conformes aux coordonnées de la carte.

#### **\* Précautions**

- I. Les points de contrôle utilisés pour la correction géométrique précise doivent être répartis, de façon aussi appropriée que possible, sur toute la région d'étude, y compris le lac, et ne pas être concentrés sur une seule partie de la région. Il faut utiliser au moins 5 ou 6 points et, si possible, entre 10 et 20.
- II. Ces opérations de traitement des images doivent être effectuées par des techniciens expérimentés dans le traitement des images et avec un système de traitement des images spécial. Cela veut dire que l'utilisateur doit introduire son propre système et former des techniciens de traitement des images (ou développer un système de traitement automatique). Parmi les logiciels fréquemment utilisés, on peut citer ERDAS, PCI, ER MAPPER, etc.

### **3.6. ANALYSE DE CORRÉLATION ENTRE LES DONNÉES SATELLITAIRES ET LES VALEURS DE LA QUALITÉ DE L'EAU MESURÉES**

Les données satellitaires, après élimination du bruit, et les valeurs de qualité de l'eau mesurées sont ensuite utilisées pour effectuer une analyse de corrélation visant à dégager une formule d'évaluation de la répartition de la qualité de l'eau basée sur les données satellitaires. Cette analyse s'effectue de la façon suivante.

#### **1) Déduction des valeurs des données satellitaires pour les emplacements d'analyse de la qualité de l'eau**

En se basant sur les coordonnées des points où des échantillons d'eau ont été prélevés pour mesurer la qualité de l'eau (ou de l'emplacement des stations de mesure automatique), on déduit les valeurs obtenues aux emplacements correspondants dans les données satellitaires pour lesquelles la correction géométrique de précision a été effectuée. Les données sont déduites pour les bandes nécessaires.

### **3.5. PREPROCESSING SATELLITE DATA**

The satellite data obtained contains various kinds of noise, which is removed through preprocessing in order to improve the accuracy of water quality evaluations based on this data. Preprocessing is done to make the following corrections.

#### **1) Precise geometric correction using control points**

The location precision obtained by the approximate geometric correction performed by the organization receiving and distributing satellite data is a little low (error of about 1 km), so it is possible for errors to occur during the correlation analysis with the measured water quality values. As shown in Fig. 3-5-1, ground control points which clarify the correspondence between the satellite data and a map are used to perform precise geometric correction necessary for the satellite data to conform with the map coordinates.

#### **\* Precautions**

- I. The control points used for precision geometric correction must be distributed as evenly as possible throughout the target region including the lake without being concentrated in one part of the region. At least 5 or 6 points must be used and if possible, between 10 and 20.
  
- II. These image processing operations must be performed by experienced image processing technicians using a specialized image processing system. This means that users have to introduce systems of their own and train and assign image processing technicians (or develop an automatic processing system). Frequently used software includes ERDAS, PCI, ER MAPPER, etc.

### **3.6. CORRELATION ANALYSIS OF SATELLITE DATA AND MEASURED WATER QUALITY VALUES**

The satellite data after noise elimination and the measured water quality values are used to perform correlation analysis to find a formula to be used to estimate the water quality distribution based on the satellite data. The analysis is performed as follows.

#### **1) Abstraction of the satellite data values for the water quality analysis locations**

Based on the coordinate values of the points where water samples were taken to perform water quality measurements (or the location of automatic measurement stations), the values obtained at the corresponding locations in the satellite data which has completed precision geometric correction are abstracted. The data is abstracted for the necessary bands.

## **2) Analyse de corrélation entre les données satellitaires et les valeurs de la qualité de l'eau mesurées**

L'analyse de corrélation (analyse de régression simple) entre les valeurs de la qualité d'eau mesurées et les données de la bande appropriée ou les résultats de la combinaison (calcul) des données par bande est effectuée pour chaque élément de la qualité de l'eau afin d'établir une équation relationnelle entre les données satellitaires et la qualité de l'eau mesurée (Fig. 3-6-1). Le Tableau 3-6-1 donne des exemples de bandes utilisées par l'élément de la qualité de l'eau et par le satellite.

## **3) Vérification de la précision d'évaluation de la qualité de l'eau**

Les valeurs des données satellitaires pour les emplacements de mesure de la qualité de l'eau sont introduites dans l'équation de corrélation obtenue pour déduire les valeurs de la qualité de l'eau estimées et pour les comparer aux valeurs de la qualité de l'eau mesurées (calcul d'erreur), afin de vérifier la précision des évaluations de la qualité de l'eau effectuées à partir des données satellitaires. Si l'erreur dépasse les limites admissibles, les données (données satellitaires et données de mesure) sont étudiées pour voir si elles sont acceptables, en mettant l'accent sur les points de mesure où l'erreur est la plus grande. À partir de ces résultats, les données dont la valeur est reconnue comme étant anormale sont éliminées afin d'établir une nouvelle équation de corrélation et d'accroître la précision.

### **\* Précautions**

- I. La déduction des données satellitaires devra être effectuée en calculant la valeur moyenne des données (dans un maillage de 5x5 pixels), incluant celles autour des emplacements de mesure de la qualité de l'eau, afin d'éviter les effets de bruit. Et quand il y a une couverture nuageuse, l'étude d'erreur devra être effectuée avec soin car elle risque d'être influencée sur une vaste superficie environnante.
- II. Il y a des cas où la précision effective est faible même si le coefficient de corrélation est élevé. Il faudra effectuer une étude afin de savoir si le coefficient de corrélation hypothétique est correctement exprimé pour vérifier l'adéquation de l'équation de corrélation, en se référant au graphique de corrélation et à l'image de répartition de la qualité de l'eau.
- III. Si des données sont éliminées à la suite d'une vérification de la précision, une étude approfondie est effectuée pour s'assurer que la valeur de ces données est incorrecte. Si l'on réduit trop le nombre de valeurs, la précision de la valeur augmente, mais la répartition effective de la qualité de l'eau risque de ne pas être représentée correctement.
- IV. Pour stabiliser la précision, il est nécessaire de collecter des données d'un grand nombre de cas pour le lac, afin de clarifier l'équation de corrélation et les emplacements de mesure de la qualité de l'eau qui conviennent pour le lac.
- V. Étant donné que les conditions (différences de concentration de la qualité de l'eau, conditions atmosphériques, etc.) au moment des observations influent sur la précision des résultats de la qualité de l'eau, la précision de l'étude peut diminuer dans certaines conditions. Comme indiqué au point 5 du Tableau 3-3-1, la solution consiste à utiliser la

## **2) Correlation analysis of the satellite data and the measured water quality values**

Correlation analysis (Single regression analysis) of the measured water values and of the data by appropriate band or the results of combining (calculating) the data by band is performed for each water quality item in order to find a relational equation for the satellite data and measured water quality (Fig. 3-6-1). Table 3-6-1 presents examples of bands used by water quality item and by satellite.

## **3) Verification of water quality estimation precision**

The satellite data values for the water quality measurement locations are input to the correlation equation obtained to find the estimated water quality values and to compare them with the measured water quality values (error calculation) in order to verify the precision of water quality estimations based on satellite data. When the error is not within the allowed range, the suitability of the data (satellite and measurement data) is studied focusing on measurement points where the error is large. From the results, data whose value is recognized as being abnormal is eliminated in order to establish a new correlation equation in order to increase precision.

### **\* Precautions**

- I. Abstraction of the satellite data should be done by calculating the average value of the data (in a 5\*5 mesh) including that around the water quality measurement locations in order to avoid the effects of noise. And where there is cloud cover, the error study must be performed carefully because there is a possibility of its being influenced over a wide surrounding area.
- II. There are cases where the actual precision is low even when the value of the correlation coefficient is high. It is necessary to perform a study to find out if the hypothetical correlation coefficient is properly expressed to verify the suitability of the correlation equation while referring to the correlation graph and the water quality distribution image.
- III. When data is eliminated as a result of the precision verification, a thorough study is performed to make sure the value of this data is incorrect. If the number of values is reduced carelessly, the precision of the value increases but there is a danger that the real water quality distribution will not be represented correctly.
- IV. In order to stabilize precision, it is necessary to collect data from many cases for the lake to clarify the correlation equation and water quality measurement locations suited to the lake.
- V. Because conditions (water quality concentration differences, atmospheric conditions, etc.) at the time of the observations influence the precision of the water quality results, the precision of the study may decline under certain conditions. As shown in item 5 in Table 3-3-1, the key is to use R/S taking full advantage of its strong points (ability to grasp water

téledétection en tirant le maximum de ses points forts (capacité de saisir la répartition de la qualité de l'eau sur une vaste superficie), en sachant qu'il y aura un certain degré d'erreur numérique.

- VI. Comme pour le prétraitement des données satellitaires, cette étape doit être effectuée par un technicien expérimenté dans le traitement des images et à l'aide d'un système de traitement d'image spécial.

### **3.7. CLARIFICATION ET UTILISATION DE LA RÉPARTITION DE LA QUALITÉ DE L'EAU**

En se basant sur les résultats de l'analyse de corrélation, la situation de la répartition de la qualité de l'eau est clarifiée et elle peut être intégrée à la gestion de la qualité de l'eau dans les retenues.

#### **1) Préparation de l'image de répartition de la qualité de l'eau**

Au moyen de l'équation de corrélation déduite de l'analyse de corrélation, les valeurs des données satellitaires pour le lac entier sont converties en données représentant la concentration de qualité de l'eau. Les couleurs (légende) à utiliser pour représenter les plages de concentration de valeurs de qualité de l'eau appropriées sont sélectionnées et l'image de la répartition de la qualité de l'eau est préparée (voir Fig. 3-7-1).

#### **2) Utilisation pour le contrôle de la qualité de l'eau**

Il est envisagé d'utiliser l'image de la répartition de la qualité de l'eau pour contrôler la qualité de l'eau des retenues comme expliqué ci-dessous :

- I. Elle est utilisée comme données de remplacement pour certains des éléments préalablement inclus dans les études périodiques de la qualité de l'eau : température de l'eau, sédiments en suspension (turbidité), chlorophylle a, etc.
- II. Elle est utilisée pour identifier les schémas de répartition de la qualité de l'eau sur une vaste superficie, par exemple un lac entier ; autrefois impossible avec les études classiques de la qualité de l'eau en des points limités.
- III. Elle est utilisée pour détecter les phénomènes localisés liés à la qualité de l'eau, comme les fleurs d'eau, ou pour clarifier leurs schémas de répartition ; également impossible avec les études de la qualité de l'eau en des points limités.

#### **3) Utilisation pour la gestion et la préservation de la qualité de l'eau**

On envisage de l'utiliser comme suit pour la gestion et la préservation de la qualité de l'eau dans les retenues, en collectant les images de répartition de la qualité de l'eau sur de nombreuses périodes de temps :

- I. Elle sert à étudier la disposition adéquate des emplacements de mesure de la qualité de l'eau pour permettre d'étudier la répartition de la qualité de l'eau à tous les niveaux, des fortes aux faibles concentrations, afin de connaître avec une plus grande précision la répartition de la qualité de l'eau d'un lac.

quality distribution over a wide area) on the premise that there will be a certain degree of numerical error.

- VI. Like the satellite data preprocessing, this step must be performed by an image processing technician using a specialized image processing system.

### **3.7. CLARIFYING AND UTILIZING WATER QUALITY DISTRIBUTION**

Based on the results of the correlation analysis, the water quality distribution situation is clarified for use in managing the quality of water in reservoirs.

#### **1) Preparation of a water quality distribution image**

Based on the correlation equation obtained from the correlation analysis, the satellite data values for the entire lake are converted into data which represents water quality concentration. The colors (legend) to be used to represent appropriate water quality value concentration ranges are selected and the water quality distribution image is prepared (See Fig. 3-7-1).

#### **2) Utilization for water quality monitoring**

Consideration is given to the use of water quality distribution images to monitor water quality in reservoirs as explained below.

- I. It is used as substitute data for some of the items formerly included in periodic water quality surveys; water temperature, SS (turbidity), chlorophyll a, and others.
- II. It is used to identify wide area water quality distribution patterns in entire lakes; formerly impossible using conventional water quality surveys at limited points.
- III. It is used to detect localized water quality phenomenon such as water bloom or to clarify their distribution range patterns; also impossible using water quality surveys of limited points.

#### **3) Utilization to manage and preserve water quality**

Using it as follows to manage and preserve the quality of water in reservoirs by accumulating water quality distribution images for many periods of time is considered.

- I. It is used to study appropriate water quality measurement location arrangements to permit the investigation of water quality distribution at all levels from high to low concentration in order to more accurately clarify the distribution of water quality in a lake.

- II. Elle sert de données de référence pour étudier les schémas de répartition de la qualité de l'eau à divers moments, ou les schémas de variation de la qualité de l'eau, afin de préciser la situation actuelle de la pollution de l'eau ou de mieux comprendre les mécanismes de pollution.
- III. De la même façon, on peut l'utiliser comme données de référence pour l'étude du débit des courants d'un lac, etc., à partir des schémas de répartition de la qualité de l'eau, afin de clarifier la circulation physique au moyen de simulations, etc.
- IV. Elle sert de données d'information destinées au grand public et de données éducatives sur l'environnement, afin de tenir la population locale bien informée de la situation réelle de la pollution de l'eau et de promouvoir des mesures de protection de la qualité de l'eau.

**\* Précautions**

- I. Pour représenter les schémas de répartition de la qualité de l'eau, qui soient faciles à comprendre sur des cartes de répartition de la qualité de l'eau, il est nécessaire d'établir une légende (code de couleur) adaptée à la répartition de la qualité de l'eau à diverses périodes. Les légendes sont établies par période, en fonction de l'usage prévu pour les données (clarification de la répartition de la qualité de l'eau, etc.).
- II. Les éléments à observer et la fréquence d'observation nécessaire, ainsi que le temps d'observation continue requis pour chaque élément, varient en fonction de l'usage qui sera fait des informations. Il est nécessaire de préparer des plans d'observation et de localiser les installations en fonction de la situation géographique de l'utilisateur et de l'usage qui sera fait des informations.
- III. Le coût des observations et de l'obtention des données n'est pas nécessairement faible, comme l'indique le point 6 du Tableau 3-3-1. Par exemple, le coût des observations à haute fréquence avec le satellite SPOT (une scène, un an) est calculé comme suit :

Coût du programme :  $2\,700\text{ US\$} \times 12\text{ mois} = 32\,400\text{ US\$}$

Coût d'observation :  $450\text{ US\$} \times 10\text{ fois/mois} \times 12\text{ mois} = 54\,000\text{ US\$}$

Coût d'acquisition des données :  $2\,700\text{ US\$} \times 12\text{ mois} = 32\,400\text{ US\$}$

Total : environ 120 000 US\$ (coûts d'analyse non compris)

Il est nécessaire d'étudier la possibilité de réduire ces coûts d'observation et d'acquisition des données au moyen d'un contrat spécial à long terme, et d'utiliser les informations ainsi obtenues efficacement, par exemple en pratiquant une gestion de pointe de la qualité de l'eau basée sur une bonne compréhension de la répartition de la qualité de l'eau sur une vaste superficie.

- IV. Pour observer et analyser les données avec le moins de retard possible, il est nécessaire de faire un investissement initial de plusieurs centaines de millions de yens pour construire une station de réception privée, installer

- II. It can be used as reference data to investigate water quality distribution patterns at different times or patterns of change in water quality patterns in order to clarify the actual state of water pollution or to understand pollution mechanisms.
- III. Similarly, it can be used as reference data to investigate the state of the flow of lake currents etc. from water quality distribution patterns in order to clarify physical circulation based on simulations etc.
- IV. It is used as material to provide information to the general public and as environmental educational material in order to keep regional populations well informed about the true state of water pollution and to promote water quality protection measures.

**\* Precautions**

- I. In order to represent water quality distribution patterns in easily understood form on water quality distribution maps, it is necessary to establish a legend (color code) suited to water quality distribution at various time periods. Legends are set by time period according to the purpose of the data (clarification of water quality distribution, etc.).
- II. Items which should be observed and the necessary observation frequency and required continuous observation time for each item vary according to the purpose for which the information is to be used. It is necessary to prepare observation plans and locate the facilities according to the user's situation and the purpose for which the information will be used.
- III. The cost of performing observations and of obtaining the data is not necessarily low as indicated by item 6 in Table. 3-3-1. For example, the cost of high frequency observations using the SPOT satellite (one scene, one year) is calculated as follows :

Program cost :	2 700 US dollars × 12 months = 32 400 US dollars
Observation cost :	450 US dollars × about 10 times /month × 12 months = 54 000 US dollars
Data acquisition cost :	2 700 US dollars × 12 months = 32 400 US dollars
Total :	About 120 000 US dollars (analysis costs not included)

It is necessary to study the possibility of reducing these data observation and acquisition costs by means of a long-term special contract, and to use the information obtained effectively by, for example, practicing advanced water quality management based on a clear understanding of the wide area distribution of water quality.

- IV. In order to observe and analyze data with little time delay, it is necessary to make an initial investment of hundreds of millions of yen to construct a private receiving station, install automatic water quality measurement

des stations de mesure automatique de la qualité de l'eau, introduire des systèmes spéciaux de traitement des images, et former des techniciens pour le traitement des images (voir point 6 du Tableau 3-3-1). Avant cela, il y a lieu de considérer la nécessité de nouvelles données en tenant compte de la façon dont les données vont être utilisées pour gérer la qualité de l'eau d'un lac ou d'un marais, ainsi que du gain de temps que va permettre la construction d'un système d'acquisition de données, et d'entreprendre une étude afin de déterminer s'il est possible d'effectuer l'investissement initial et décider quand l'installation pourra être achevée.

stations, introduce specialized image processing systems, and train image processing technicians (item 6, Table 3-3-1). Before doing so, it is necessary to consider the need for fresh data considering the way the data is to be used to manage water quality of a lake or marsh and the degree that the construction of a data provision system will reduce the time required to acquire data, and conduct a study to determine if it is possible to make the initial investment and decide when the new facility would be completed.

---

## 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES D'AVENIR

---

### 4.1. ÉVALUATION COMPLÈTE DE L'APPLICABILITÉ DE LA TÉLÉDÉTECTION

Dans ce chapitre, nous résumons l'applicabilité de la télédétection, les problèmes et les mesures nécessaires pour chaque élément de contrôle de la qualité de l'eau, en se basant sur les résultats de la discussion sur l'applicabilité d'exemples antérieurs et de la discussion sur l'applicabilité de l'étude du cas présent.

#### 1) Applicabilité par éléments de la qualité de l'eau

On considère que la télédétection est applicable à la température de l'eau, à la transparence, aux sédiments en suspension (SS) et à la turbidité si les conditions météorologiques au moment de l'observation et les données mesurées sur le site sont correctes. Elle est également applicable à la chlorophylle a, mais il faudra poursuivre l'étude afin d'améliorer la précision car, dans ce cas, la précision est inférieure à celle de la turbidité, etc. On considère que la méthode est difficilement applicable pour DBO, DCO, AT et PT, car on n'a pas constaté de relation claire avec les données de télédétection.

#### 2) Problèmes d'application

Bien que nous ayons jugé la télédétection applicable à la température de l'eau, à la turbidité, à la chlorophylle a, etc., comme il a été dit précédemment, l'identification périodique de la qualité de l'eau avec un haut niveau de précision pose toujours un problème. Les problèmes représentatifs de l'application peuvent être résumés comme suit :

- I. La résolution de la sonde et la fréquence d'observation sont inadéquates pour certains éléments de la qualité de l'eau.
- II. Il n'y a pas de sondes qui soient capables d'observer la longueur d'onde pour certains paramètres de la qualité de l'eau. Par ailleurs, il y a certains paramètres de la qualité de l'eau dont la longueur d'onde n'a pas encore été clarifiée.
- III. Il risque d'y avoir une baisse de précision si les données météorologiques ou les données mesurées sur le site ne sont pas correctes.
- IV. Une méthode d'analyse universelle (également applicable à différents endroits et à différentes saisons, etc.) n'a pas encore été établie.

#### 3) Mesures pour résoudre ces problèmes

Les mesures à court terme envisagées pour résoudre ces problèmes comprennent, par exemple, la fourniture d'une résolution et d'une fréquence d'observation utilisant conjointement plusieurs satellites existants, le développement d'une méthode d'élimination des bruits, et le renforcement de la stabilité de la précision en rassemblant les études de cas d'analyse de données de télédétection. Il

---

## 4. CONCLUSION AND FUTURE OUTLOOK

---

### 4.1. COMPREHENSIVE EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF REMOTE SENSING

In this Chapter, we summarize the applicability of R/S method, issues and necessary measures for each water quality monitoring items based on the result of discussion on applicability of past examples and the discussion on the applicability of present case study.

#### 1) Applicability by water quality items

It is considered to be applicable to water temperature, transparency, SS and turbidity if the weather condition at the time of observation and sea truth data used are proper. It is also applicable to chlorophyll-a, but further study should be necessary to improve the accuracy because the accuracy in this case is lower than that of turbidity, etc. It is considered to be difficult to apply to BOD, COD, T-N and T-P because the clear relation with R/S data is not observed.

#### 2) Issues in application

Although we found the applicability to water temperature, turbidity, chlorophyll-a, etc. as stated in the above, there still exists a problem to identify the water quality periodically at high accuracy. The representative issues in application can be summarized as follows.

- I. Resolution of sensor and observation frequency are inadequate for some water quality items.
- II. There are no sensors which can observe the proper wavelength for some water quality parameters. Also, there are some water quality parameters for which proper wave length is yet to be clarified.
- III. Declination of accuracy may occur if the weather condition or sea truth data used are improper.
- IV. Universal analysis method (equally applicable to different places and different seasons, etc.) has not been established.

#### 3) Measures for the issues

For a short term countermeasure for these issues are considered such as to supply the resolution and observation frequency using jointly existing satellites, to develop a method to eliminate noises, and to enhance the stability of accuracy by accumulating the case study of R/S data analysis. It would be effective to utilize the new high resolution satellites which have been launched in recent years (TERRA,

serait efficace d'utiliser les satellites à haute résolution qui ont été lancés au cours de ces dernières années (TERRA, IKONOS, etc.) ; en outre, il est également prévu de lancer de nouveaux satellites (ALOS, ORBVIEW-3) dans un proche avenir. Dans une optique à long terme, il faudrait développer et lancer un satellite/sonde possédant des bandes d'observation, une résolution et une fréquence d'observation adaptées à l'identification de la qualité de l'eau des lacs et des grandes retenues.

## **4.2. PERSPECTIVES D'AVENIR DE L'UTILISATION PRATIQUE DE LA MÉTHODE DE TÉLÉDÉTECTION**

### **1) Amplification de la disponibilité des données satellitaires**

Cette année, nous avons confirmé l'applicabilité de la méthode de télédétection à l'identification de la qualité de l'eau sur de vastes superficies, en utilisant les données des satellites artificiels SPOT, LANDSAT, NOAA, ADEOS et IRS. Toutefois, comme il a été dit précédemment, la fréquence d'observation est limitée par le climat dans les pays qui, comme le Japon, sont situés dans une zone de mousson. Les problèmes futurs devront traiter de l'applicabilité des satellites qui seront lancés dans un proche avenir (comme IKONOS, QuickBird, etc.), et développer une méthode de contrôle pratique pouvant fournir une observation de haute précision en utilisant conjointement plusieurs satellites.

### **2) Discussion de la méthode d'observation des données mesurées sur le site**

Pour que la méthode d'analyse par corrélation puisse être utilisée de façon pratique, il sera important de mettre au point une méthode capable d'obtenir la répartition de la qualité de l'eau de façon périodique et automatique. Pour cela, il faudra étudier une méthode permettant d'obtenir facilement des données coïncidant avec les données mesurées sur le site, avec utilisation d'un contrôle automatique de la qualité de l'eau. Dans ce cas, on considère qu'il sera nécessaire d'étudier la méthode des mesures sur le site, pouvant être utilisée même si le nombre approprié d'équipements n'est pas disponible, en considérant que cette possibilité est applicable aux pays en voie de développement.

### **3) Collecte de données d'exemples (d'observation)**

On pense qu'il faudra rassembler des données d'observation et d'analyse aussi nombreuses que possible pour pouvoir établir une méthode universelle, offrant une applicabilité stable, qui ne soit pas influencée par les conditions saisonnières et météorologiques. Mais l'établissement d'une méthode universelle sera difficile et demandera du temps.

### **4) Étude des techniques de télédétection et reconnaissance des tendances de la recherche**

Les techniques de télédétection connaissant un développement rapide de jour en jour, il sera nécessaire d'utiliser ces techniques pour cette étude. En particulier, comme il est prévu de lancer un grand nombre de satellites d'observation terrestre au cours des années à venir, il faudra reconnaître la tendance technique (caractéristiques des sondes et des plates-formes, etc.) s'y rapportant.

IKONOS etc.), and more are scheduled to be launched in the near future (ALOS, ORBVUEW-3). As a long term view, it would be necessary to develop and launch satellite/sensor which has observation bands, resolution and observation frequency suitable for identifying the water quality of lakes and big reservoirs.

## **4.2. FUTURE OUTLOOK FOR THE PRACTICAL USE OF REMOTE SENSING METHOD**

### **1) Expansion of availability of satellite data**

In this year, we confirmed the applicability of R/S method to the identification of water quality at wide area using the data of artificial satellite SPOT, LANDSAT, NOAA, ADEOS and IRS. As stated before, however, the observation frequency is limited by the weather in a country like Japan in the monsoon area. The future issues would be to discuss the applicability of the satellites which will be newly launched in the future (such as IKONOS, QuickBird, etc), and to develop a practical monitoring method which may provide an observation with high accuracy by jointly using the plural number of satellites.

### **2) Discussion on observation method of sea truth data**

In order for the practical use of correlation analysis method, it would be important to study for the development of method which can periodically and automatically extract water quality distribution. For this objective, it is necessary to discuss the method to obtain coincident sea truth data with ease using automatic water quality monitor. In this case, it is considered to be necessary to study the sea truth method which can be used even where adequate number of equipment is not available, considering the possibility that it may applied to the developing countries.

### **3) Accumulation of example (observation) data**

It is considered necessary to accumulate as many data of observation and analysis as possible in order to establish a universal method having stable applicability without being influenced by the season and weather conditions. But it will be difficult and take long time to establish universal method.

### **4) Investigation on R/S techniques and recognition of research trend**

As the R/S techniques are developing rapidly day by day, it should be necessary to utilize these techniques for this study. Especially, since it is planned to launch many earth observation satellites in a few years in the future, it is necessary to recognize the technical trend (characteristics of sensors and platforms, etc) relating to them.

## **5) Étude de la méthode d'utilisation**

Il sera nécessaire d'étudier l'utilisation de la télédétection non seulement pour la quantification de la qualité de l'eau, mais également pour la déduction des phénomènes qualitatifs, tels que les plages de répartition du plancton. Le problème futur sera de tirer parti de la méthode de télédétection pour collecter des informations séquentielles spatiales et temporelles et les utiliser pour la gestion de la qualité de l'eau, sans se limiter à la poursuite de la précision de l'évaluation de la qualité de l'eau.

## **6) Discussion sur les aspects économiques**

Si l'on suppose que la méthode envisagée dans cette étude peut être introduite dans les pays en voie de développement, il faudra étudier l'aspect économique, notamment le coût initial et les frais d'exploitation, dans les frais d'installation d'un contrôle automatique de la qualité de l'eau.

### **5) Study on use method**

It would be necessary to study the use of R/S not only for the quantification of water quality but also for extraction of qualitative phenomena such as the distribution range of plankton. It will be the future issue to take advantages of the ability of R/S method to collect spatial and time sequential information and use it for water quality management not confining ourselves in the pursuit of accuracy for water quality identification.

### **6) Discussion on economic aspects**

Assuming that the method contemplated in this study may be introduced to developing countries, it would be necessary to discuss the economic aspect such initial cost and operation cost as installation cost of automatic water quality monitor.

---

## 5. REFERENCES

---

1. DAVID ECKHARDT, JAMES F. LABOUNTY (1994): Using Landsat thematic mapper imagery to map the water quality of Las Vegas Bay and Boulder Basin, Lake Mead, *Bureau of Reclamation Report*, No. R-94-16, 94 p.
2. CHATURVEDI N., NARAYAMA A., NARAIN A. (1995): Phyto-plankton pigment distribution in Indian waters and its role in modulating the internal wave signatures in the Andaman Sea: A study using IRS LISS I, *Proceedings of 3rd thematic conference on remote sensing for marine and coastal environments*, pp II-188-199.
3. EOSAT (1996) : EOSAT notes Vol. 1, No. 1.
4. BAZZANI M., CECCHI G., PANTANI L., *et al.* (1995): Venice Lagoon monitoring by a fluorescence lidar, *IGARSS*, Vol. 1995, No. Vol. 3, pp 1735-1737.
5. TSIPENYUK D. YU, DAVYDOV M. A. (1995) : Selective resonance excitation in remote laser spark spectroscopy, *Proceedings of 3rd thematic conference on remote sensing for marine and coastal environments*, pp II-743-744.
6. CIANCIOTTO F. T. P. (1995): Detection and classification of surface and subsurface objects by the use of airborne imaging lidar system, *Proceedings of 3rd thematic conference on remote sensing for marine and coastal environments*, pp I-381-391.
7. ROBERTS A., KIRMAN C., LESACK L. (1995): Suspended sediment concentration estimation from multi-spectral video imagery, *International journal of remote sensing*, Vol. 16, No. 13, pp 2439-2455.

8. BRAUDE C., YOSEF N. B., DOR I. (1995) : Satellite remote sensing of waste water reservoirs, *International journal of remote sensing*, Vol. 16, No. 16, pp 3087-3114.
9. BOLGRIEN D. W., WRIGLEY R. C., *et al.* (1995) : Absorption spectra for chlorophyll, particles and dissolved organic carbon in Green Bay, Lake Michigan, *Proceedings of 3rd thematic conference on remote sensing for marine and coastal environments*, pp I-163-172.
10. ALLEWIJN R., KOKKE J. M. M., DEKKER A. G., VOS R. J. (1995) : Remote sensing and water quality in the Netherlands, *Sensors and environmental applications of remote sensing*, pp 273-280.
11. AINSWORTH T. L., *et al.* (1995) : INSAR imagery of surface currents wave fields, and fronts, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, Vol. 33, No. 5, pp 1117-1123.
12. DE MORAES NOVO E., DA SILVA M. L. S. (1995) : Combined analysis of SAR C and TM/Landsat data in the assessment of aquatic vegetation changes in the Tucuruí reservoir, Para State, Brazilian Amazon, *IGARSS*, Vol. 1995, No. Vol. 2, pp 1242-1245.
13. MALTHUS T. J., DEKKER A. G. (1995) : First derivative indices for the remote sensing of inland water quality using high spectral resolution reflectance, *Environmental international*, Vol. 21, No. 2, pp 221-232.
14. MATTIKALLI N. M., ENGMAN E. T. (1996) : Land surface remote sensing and geographical information systems for water quality modeling, *IGARSS*, Vol. 1996, No. Vol. 4, pp 2237-2239.
15. LABELINGS, B., R. VOS, P. BODERIE, H. HAKVOORT and E. HOOGENBOOM (2001) : RALLY-Remote Sensing of Algal blooms in Lake Ussel, *BCRS-RIZA report 2001.036* (in press).

---

## FIGURES ET TABLEAUX

---

- Fig. 2-2-1 : Collecte de données par télédétection à l'aide d'un satellite
- Fig. 2-3-1 : Carte de situation des zones d'observation
- Fig. 3-1-1 : Procédure d'introduction de la méthode de contrôle de la qualité de l'eau par télédétection
- Fig. 3-2-1 : Exemple de carte de couverture de scène (exemple LANDSAT)
- Fig. 3-2-2 : Exemple d'image en fausse couleur
- Fig. 3-2-3 : Exemple de préparation d'une image de répartition moyenne de la qualité de l'eau
- Fig. 3-3-1 : Situation géographique des stations de réception au sol de LANDSAT et de SPOT
- Fig. 3-3-2 : Représentation schématique des bons/mauvais emplacements de mesure de la qualité de l'eau
- Fig. 3-5-1 : Exemple de points de contrôle au sol
- Fig. 3-6-1 : Exemple d'analyse de corrélation entre les valeurs des données satellitaires et les valeurs mesurées de la qualité de l'eau (température de l'eau)
- Fig. 3-7-1 : Exemple d'image de répartition de la qualité de l'eau (turbidité)
- Tableau 2-2-1 : Liste des éléments applicables à la méthode de télédétection
- Tableau 2-3-1 : Détails des satellites artificiels et des sondes utilisés pour l'observation
- Tableau 2-3-2 : Applicabilité des éléments de la qualité de l'eau déduite des résultats de l'observation/analyse au Japon
- Tableau 3-2-1 : Tableau des satellites fournissant des données rassemblées dans le passé
- Tableau 3-2-2 : Bandes utilisées pour la déduction et l'analyse des tendances de répartition de la qualité de l'eau
- Tableau 3-3-1 : Faisabilité de l'application du contrôle de la qualité de l'eau par satellite
- Tableau 3-6-1 : Exemples de bandes utilisées par les éléments de la qualité de l'eau et les satellites
- Diagramme : Contrôle périodique quantitatif de la qualité de l'eau sur la base de nouvelles données d'observation (Deuxième étape)

---

## FIGURES ET TABLES

---

- Fig. 2-2-1: Data collection by R/S using satellite
- Fig. 2-3-1: Location map of observation area
- Fig. 3-1-1: R/S based water quality monitoring method introduction procedure
- Fig. 3-2-1: Example of a scene coverage map (LANDSAT example)
- Fig. 3-2-2: Sample false color image
- Fig. 3-2-3: Sample preparation of an average water quality distribution image
- Fig. 3-3-1: Location of ground receiving stations for LANDSAT and SPOT
- Fig. 3-3-2: Schematic diagram of good/poor water quality measurement locations
- Fig. 3-5-1: Example of ground control points
- Fig. 3-6-1: Example of a correlation analysis of satellite data values and measured water quality values (water temperature)
- Fig. 3-7-1: Example of a water quality distribution image (turbidity)
- Table 2-2-1: List of applicable items of R/S method
- Table 2-3-1: The details of artificial satellite and sensor used for observation
- Table 2-3-2: Applicability for water quality items seen from the results of observation / analysis in Japan
- Table 3-2-1: Table of satellites providing accumulated data
- Table 3-2-2: Bands used for abstraction and analysis of water quality distribution trends
- Table 3-3-1: Feasibility of application to water quality monitoring by satellite
- Table 3-6-1: Examples of bands used by water quality item and by satellite
- Flow chart: Quantitative periodical water quality monitoring based on new observation data (Second stage)

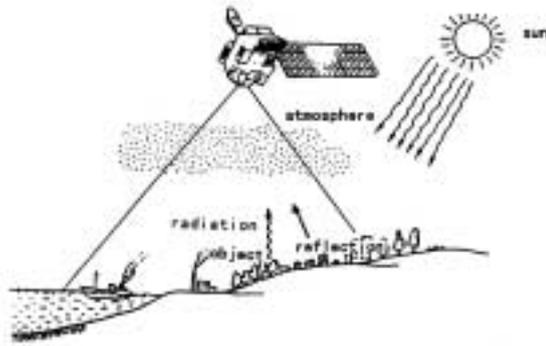


Tableau 2-2-1  
Liste des éléments applicables à la méthode de télédétection

Éléments		Évaluation de l'applicabilité (à l'heure actuelle)	Remarques
Qualité de l'eau	Transparence	(A)	Il est possible que l'applicabilité soit réduite par la turbidité de l'air et la réflexion sur le lit du lac.
	SS	(A)	
	Turbidité	(B)	Il y a peu d'exemples d'application, il est nécessaire de collecter des exemples pour vérification.
	Chlorophylle a	(B)	Il y a de grandes différences d'applicabilité en raison de la turbidité de l'air et autre turbidité de l'eau, et certaines mesures sont nécessaires pour maintenir la stabilité.
	DBO	(C)	Une étude de base est nécessaire pour identifier les bandes appropriées, car il y a peu d'exemples d'application et il manque des données de base, comme la bande spectrale, etc.
	DCO	(C)	
	AT	(C)	
	PT	(C)	
	OD	(C)	Une étude de base est nécessaire, par exemple une collecte d'exemples d'application et une identification des bandes appropriées, car il y a peu d'exemples d'application.
	pH	(B)	
Conductivité électrique	(B)		
Température de l'eau		(A)	Il y a un problème dans la résolution de la sonde.
Plantes aquatiques		(B)	Il est possible d'identifier la répartition de la végétation à la surface de l'eau.
Plancton (fleurs d'eau, marées rouges, etc.)		(B)	Il y a des problèmes comme l'établissement d'une méthode d'observation valable en tout temps et capable de suivre des phénomènes soudains, ainsi que d'une méthode de prompt analyse.
Vagues		(C)	Il y a une possibilité en ce qui concerne la méthode, mais le problème est qu'il n'existe pas de sonde pratique.
Débit		(C)	
Occupation des sols dans le bassin		(B)	Une correction par opération manuelle est nécessaire, dans une certaine mesure, pour renforcer la précision.

Note) La légende d'évaluation de l'applicabilité est la suivante :

(A) : Applicable

(B) : Applicable mais il y a une limitation dans la précision ; il y a des problèmes à étudier.

(C) : Utilisation difficile à l'heure actuelle ; il y a beaucoup de problèmes.

Fig. 2-1-1

Data collection by R/S using satellite

*Collecte de données par télédétection à l'aide d'un satellite*

Sun  
 Atmosphere  
 Radiation  
 Reflection  
 Object

*Soleil  
 Atmosphère  
 Rayonnement  
 Réflexion  
 Objet*

Table 2-2-1

List of applicable items of R/S method

Items		Applicability evaluation (at present)	Remarks
Water quality	Transparency	(A)	There is a possibility that applicability may be worsened by turbidity of air and reflection from lakebed.
	SS	(A)	
	Turbidity	(B)	There are few examples of application, it is necessary to accumulate the verification examples.
	Chlorophyll-a	(B)	There are large differences in applicability due to air turbidity and other turbidity in water, some measures are necessary to maintain stability.
	BOD	(C)	Basic study is necessary to identify the proper bands as there are few examples of application and they are lacking the background such as proper spectral band, etc.
	COD	(C)	
	T-N	(C)	
	T-P	(C)	
	DO	(C)	
	pH	(B)	Basic study is necessary such as accumulation of verification examples and identification of proper bands as there are few examples of application.
Electric conductivity	(B)		
Water temperature		(A)	There is a problem in sensor resolution.
Aquatic plant		(B)	It is possible to identify the vegetation distribution on water surface.
Plankton (water bloom, red tide, etc)		(B)	There are issues such as an establishment of all-time observation method able to follow sudden phenomenon as well as a method of prompt analysis.
Waves		(C)	There is a possibility as for the method, but the problem is the availability of practical sensor.
Flow		(C)	
Land use at basin		(B)	Correction by manual operation is necessary to some extent to enhance the accuracy.

Note) The legends of applicability evaluation are as follows:

(A): Applicable

(B): Applicable but there is a limitation in accuracy; there are issues to be studied

(C): Difficult to use at present; there are many issues

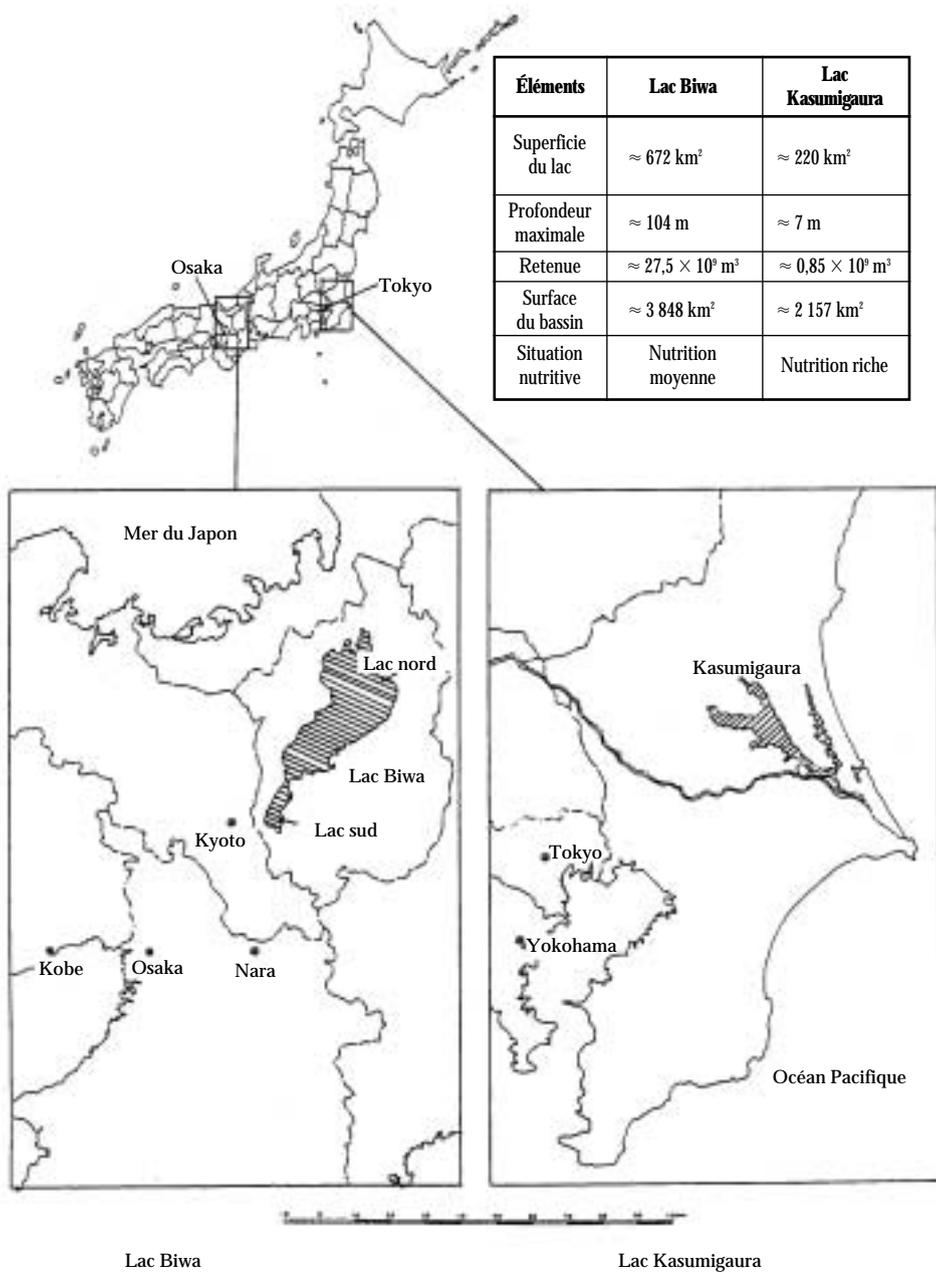


Fig. 2-3-1  
 Carte de situation des zones d'observation

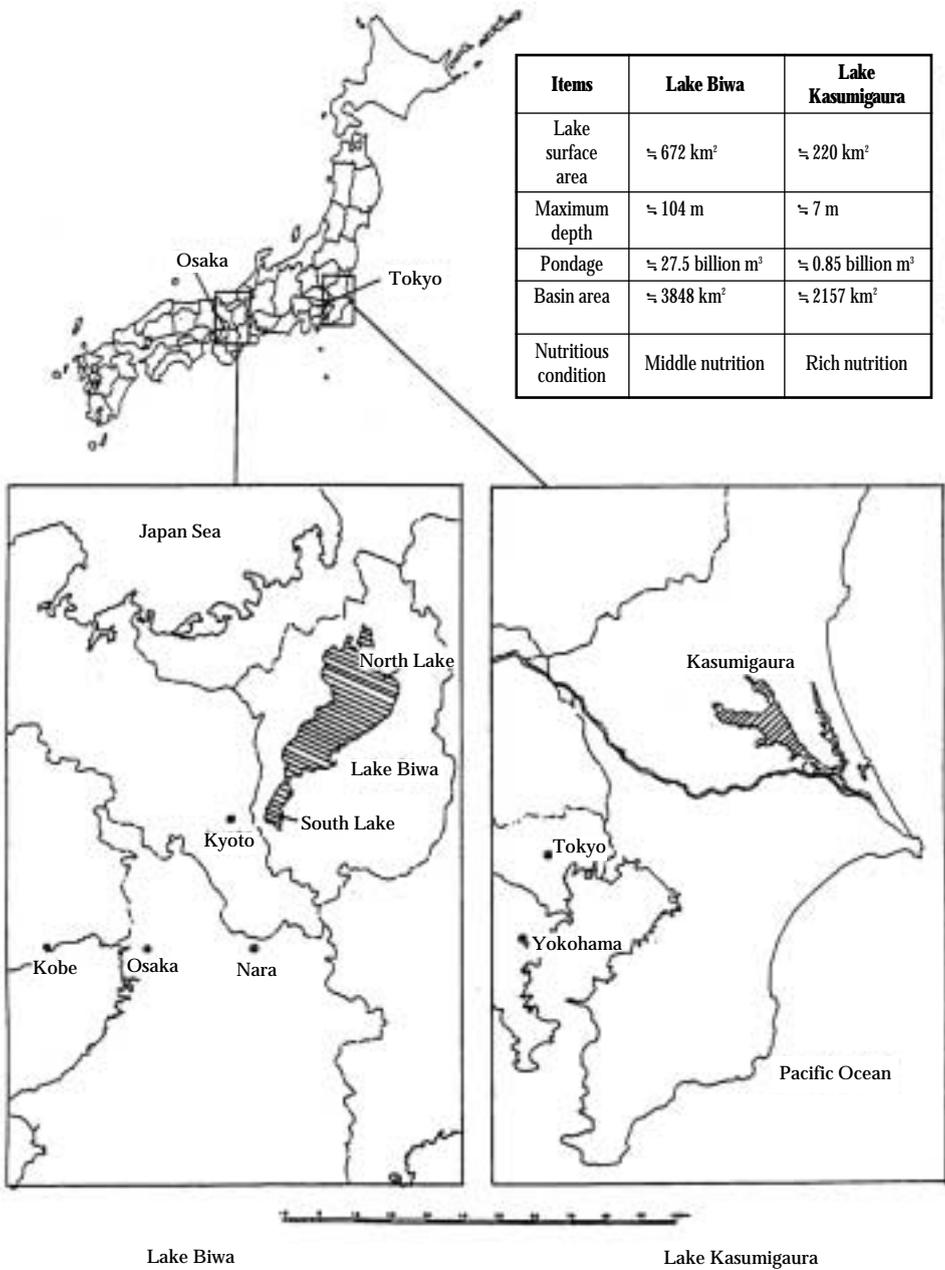


Fig. 2-3-1  
Location map of observation area

Tableau 2-3-1

*Détails des satellites artificiels et des sondes utilisés pour l'observation*

<b>Satellite</b>	<b>NOAA</b>	<b>SPOT</b>	<b>LANDSAT</b>
<b>Sonde</b>	<b>AVHRR</b>	<b>HRV</b>	<b>TM</b>
Bande d'observation (chiffres en $\mu\text{m}$ )	BANDE 1 : 0,58-0,68 (visible) BANDE 2 : 0,73-1,10 (proche infrarouge) BANDE 3 : 3,55-3,93 (infrarouge intermédiaire) BANDE 4 : 10,3-11,3 (thermo-infrarouge) BANDE 5 : 11,5-12,5 (thermo-infrarouge)	Multispectrale BANDE 1 : 0,50-0,59 (vert visible) BANDE 2 : 0,61-0,68 (rouge visible) BANDE 3 : 0,79-0,89 (proche infrarouge) Noir et blanc PA: 0,51-0,73 (visible)	BANDE 1 : 0,45-0,52 (rouge visible) BANDE 2 : 0,52-0,60 (vert visible) BANDE 3 : 0,63-0,69 (rouge visible) BANDE 4 : 0,76-0,90 (proche infrarouge) BANDE 5 : 1,55-1,75 (infrarouge ondes courtes) BANDE 6 : 10,40-12,50 (thermo-infrarouge) BANDE 7 : 2,08-2,35 (infrarouge ondes courtes)
Largeur d'observation	2 700 km	60 km (observation à la verticale) 81 km (observation de biais)	185 km
Résolution au sol	1 100 m	20 m (multispectral) 10 m (noir et blanc)	30 m (sauf la BANDE 6) 120 m (BANDE 6)
Cycle d'observation	12 heures (avec 1 satellite) Quelques heures (avec 2 satellites)	26 jours (observation normale) 1-4 jours (demande de programmation)	16 jours
Élément d'observation	Température de l'eau	Turbidité, chlorophylle a	Température de l'eau, turbidité, chlorophylle a

**Tableau 2-3-1**  
**The details of artificial satellite and sensor used for observation**

<b>Satellite</b>	<b>NOAA</b>	<b>SPOT</b>	<b>LANDSAT</b>
<b>Sensor</b>	<b>AVHRR</b>	<b>HRV</b>	<b>TM</b>
Observation band (figures are in $\mu\text{m}$ )	BAND 1: 0.58-0.68 (visible) BAND 2: 0.73-1.10 (near infrared) BAND 3: 3.55-3.93 (intermediate infrared) BAND 4: 10.3-11.3 (thermal infrared) BAND 5: 11.5-12.5 (thermal infrared)	Multispectral BAND 1: 0.50-0.59 (visible green) BAND 2: 0.61-0.68 (visible red) BAND 3: 0.79-0.89 (near infrared) Monochrome PA: 0.51-0.73 (visible)	BAND 1: 0.45-0.52 (visible red) BAND 2: 0.52-0.60 (visible green) BAND 3: 0.63-0.69 (visible red) BAND 4: 0.76-0.90 (near infrared) BAND 5: 1.55-1.75 (short wave infrared) BAND 6: 10.40-12.50 (thermal infrared) BAND 7: 2.08-2.35 (short wave infrared)
Observation width	2700 km	60 km (Vertically below direction) 81 km (Observation from slant direction)	185 km
Ground resolution	1100 m	20 m (Multispectral) 10 m (Monochrome)	30 m (except BAND 6) 120 m (BAND 6)
Observation cycle	12 hours (Using 1 satellite) few hours (Using 2 satellites)	26 days (Normal observation) 1~4 days (Programming request)	16 days
Observation item	Water temperature	Turbidity, chlorophyll-a	Water temperature, turbidity, Chlorophyll-a

Tableau 2-3-2

*Applicabilité des éléments de la qualité de l'eau déduite des résultats  
de l'observation/analyse au Japon*

Éléments	Précision (erreur moyenne du cas ayant la plus haute corrélation) (2)		Évaluation de l'applicabilité (3)		Remarques
	Lac Biwa	Lac Kasumigaura	Lac Biwa	Lac Kasumigaura	
Température de l'eau	~ 0,8 °C (NOAA) ~ 0,2 °C (LANDSAT)	~ 0,4 °C (NOAA) ~ 0,1 °C (LANDSAT)	(A)	(A)	Dans le cas de NOAA, il y a un problème d'applicabilité aux rives du lac.
Transparence	~ 0,3 m (~ 20 %)	~ 0,2 m (1) (~ 37 %)	(A)	(A)	Il est possible que la précision diminue en fonction du contenu des mesures sur le site (profondeur de mesure, etc.) et de la météorologie.
SS	~ 1,3 mg/l (~ 16 %)	~ 9,8 mg/l (1) (~ 53 %)	(A)	(B)	
Turbidité	~ 1,4 degré (~ 17 %)	~ 14,5 degrés (~ 33 %)	(A)	(A)	
Chlorophylle a	~ 3,3 µg/l (1) (~ 41 %)	~ 21,5 µg/l (~ 53 %)	(B)	(B)	Le développement d'une sonde capable de détecter les faibles informations concernant la chlorophylle a et l'élaboration d'une méthode d'analyse de ces informations posent des problèmes.

(1) Résultat de la vérification faisant intervenir les données d'étude périodique de la qualité de l'eau (il y a une différence de 0 à 10 jours avec les données de télédétection).

(2) La valeur de précision est l'erreur moyenne des données de télédétection et de la valeur mesurée, et le rapport obtenu en divisant l'erreur moyenne par la moyenne de la valeur prédite (le taux d'erreur compris dans la valeur prédite).

(3) La légende d'évaluation de l'applicabilité est la suivante :

(A) : Applicable

(B) : Applicable, mais il y a un problème de précision

Table 2-3-2  
 Applicability for water quality items seen from the results  
 of observation / analysis in Japan

Items	Accuracy (average error of the case having highest correlation) (2)		Applicability evaluation (3)		Remarks
	Lake Biwa	Lake Kasumigaura	Lake Biwa	Lake Kasumigaura	
Water temperature	~0.8°C (NOAA) ~0.2°C (LANDSAT)	~ 0.4 °C (NOAA) ~ 0.1 °C (LANDSAT)	(A)	(A)	There is a problem in applicability to lakeshores in case of NOAA.
Transparency	~0.3 m (~20%)	~ 0.2 m (1) (~ 37 %)	(A)	(A)	
SS	~ 1.3 mg/l (~ 16 %)	~ 9.8 mg/l (1) (~ 53 %)	(A)	(B)	There is a possibility the accuracy may decline according to the contents of sea truth (measuring depth, etc) and weather.
Turbidity	~ 1.4 degré (~ 17 %)	~ 14.5 deg. (~ 33 %)	(A)	(A)	
Chlorophyll-a	~ 3.3 µg/l (1) (~ 41 %)	~ 21.5 µg/l (~ 53 %)	(B)	(B)	There are issues to develop a sensor which can detect feeble information resulting from chlorophyll-a and method to analyze such information.

(1) Verification result using periodic water quality survey data (there is 0 to 10 day's difference from R/S data)

(2) The values of accuracy are average error of R/S data and measured value, and the ratio obtained by dividing average error by the average of predicted value (the error ratio included in predicted value)

(3) The legend of applicability evaluation is as follows :

(A): Applicable

(B): Applicable, but there is a problem in accuracy

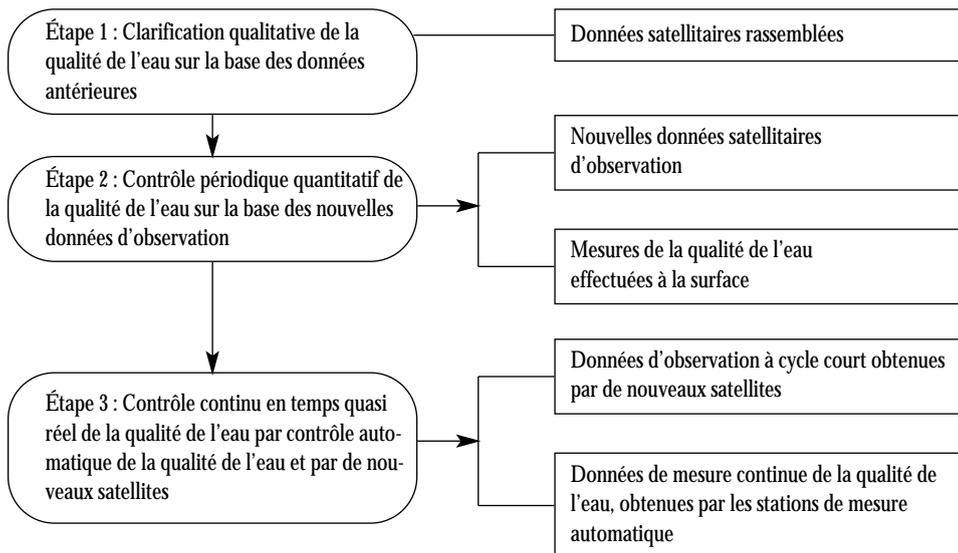


Fig. 3-1-1

*Procédure d'introduction de la méthode de contrôle de la qualité de l'eau par télédétection*

Tableau 3-2-1

*Tableau des satellites fournissant des données rassemblées dans le passé*

Satellite	Sonde	Période d'observation	Remarques
LANDSAT	MSS	1972~	Données rassemblées, couvrant le monde entier pendant la période la plus longue
	TM	1984~	Données mondiales rassemblées, possibilité de contrôler la température de l'eau
SPOT	HRV	1986~	Selon la région, les données d'observation risquent d'être insuffisantes.
NOAA	AVHRR	1978~	Capable de contrôler la température de l'eau, mais sa résolution est faible : environ 1 km seulement.



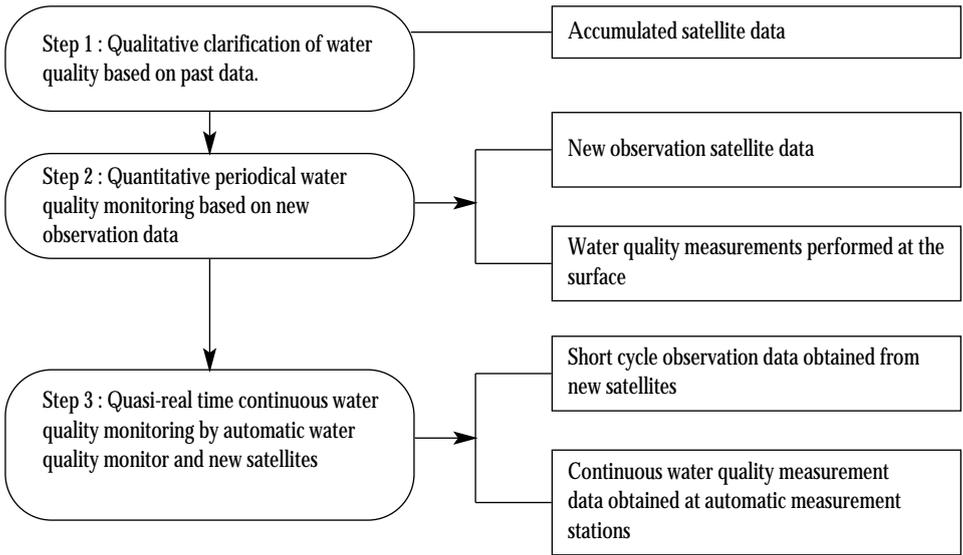


Fig. 3-1-1  
R/S based water quality monitoring method introduction procedure

Table 3-2-1  
Table of satellites providing accumulated data

Satellite	Sensor	Observation Period	Remarks
LANDSAT	MSS	1972~	Accumulated data covering the entire world for the longest period.
	TM	1984~	Accumulated world wide data, it can monitor water temperature.
SPOT	HRV	1986~	Depending on the region, the observation data may be insufficient.
NOAA	AVHRR	1978~	It can monitor water temperature, but its resolution is poor: only about 1 km.

Fig. 3-2-1  
Example of a scene coverage map (LANDSAT example)  
*Exemple de carte de couverture de scène (exemple LANDSAT)*

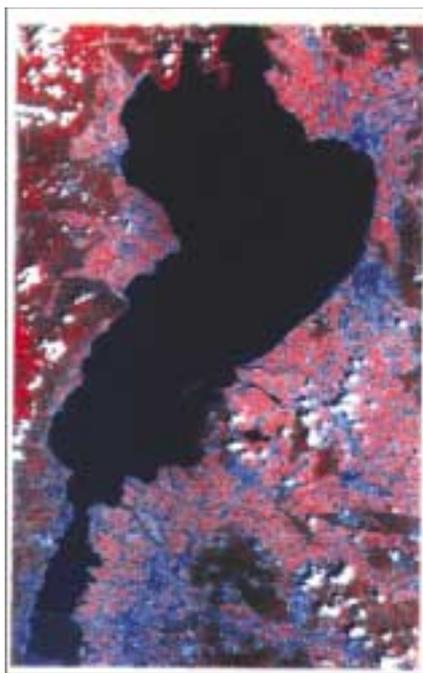


Tableau 3-2-2  
*Bandes utilisées pour la déduction et l'analyse des tendances de répartition de la qualité de l'eau*

Satellite	LANDSAT	SPOT	NOAA
Indice de turbidité	Bandes 1, 2, 3	Bandes 1, 2	-
Indice de température de l'eau	Bande 6	-	SST (valeurs calculées des bandes 3, 4, 5)

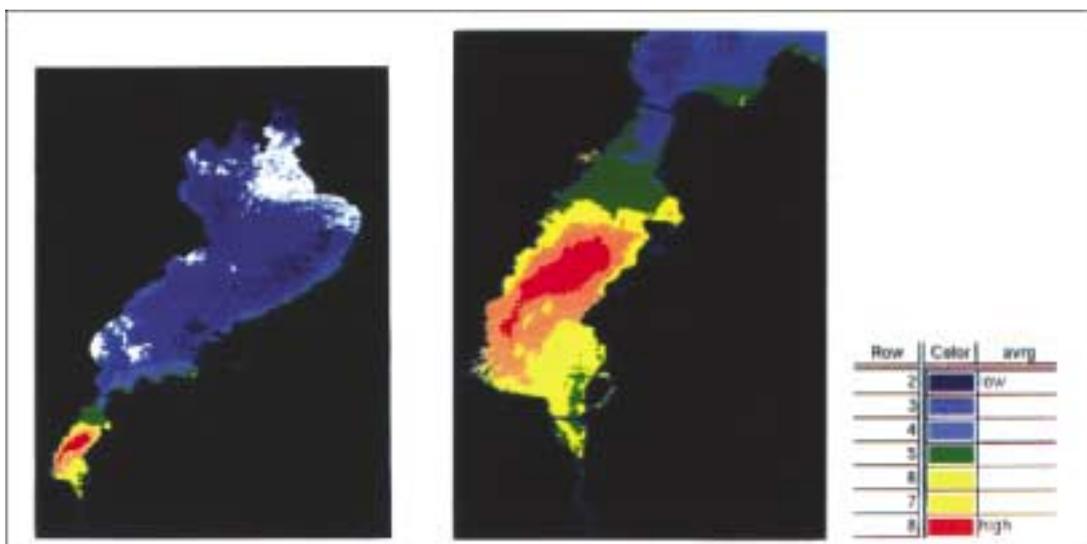


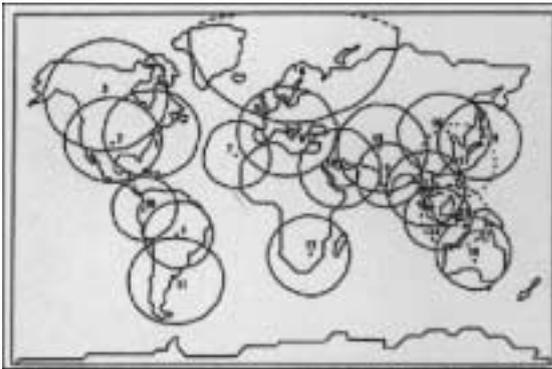
Fig. 3-2-2  
 Sample false color image  
*Exemple d'image en fausse couleur*

Table 3-2-2  
 Bands used for abstraction and analysis of water quality distribution trends

Satellite	LANDSAT	SPOT	NOAA
Turbidity Index	Bands 1, 2, 3	Bands 1, 2	-
Water Temp. Index	Band 6	-	SST (Calculated values of bands 3, 4, 5)

Fig. 3-2-3  
 Sample preparation of an average water quality distribution image  
*Exemple de préparation d'une image de répartition moyenne de la qualité de l'eau*

Row	<i>Rang</i>
Color	<i>Couleur</i>
Avg	<i>Moyenne</i>
Low	<i>Faible</i>
High	<i>Élevée</i>



(1) LANDSAT



(2) SPOT

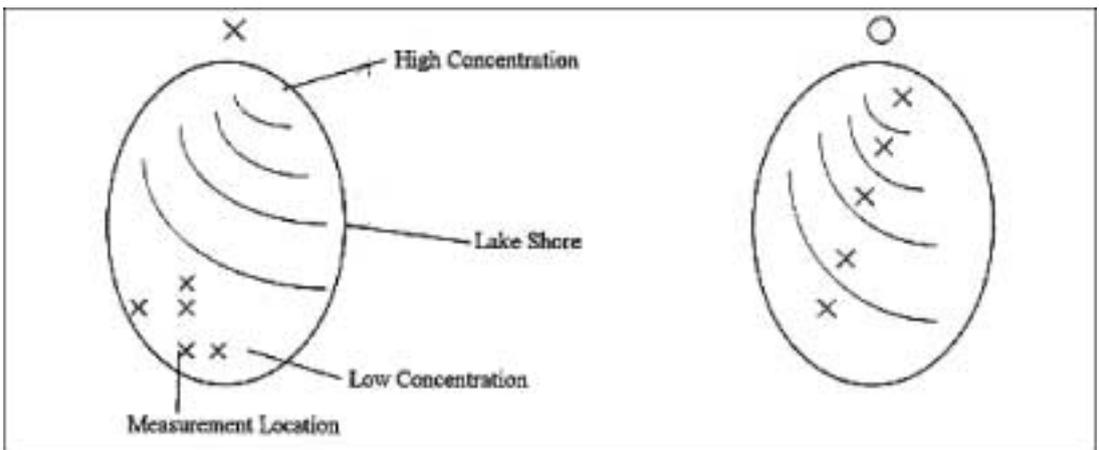


Fig. 3-3-1

Location of ground receiving stations for LANDSAT and SPOT  
*Situation géographique des stations de réception au sol de LANDSAT et de SPOT*

Fig. 3-3-2

Schematic diagram of good/poor water quality measurement locations  
*Représentation schématique des bons/mauvais emplacements de mesure de la qualité de l'eau*

Hight Concentration	<i>Forte concentration</i>
Lake Shore	<i>Rive du lac</i>
Low Concentration	<i>Faible concentration</i>
Measurement Location	<i>Emplacement de la mesure</i>

**Tableau 3-3-1**  
**Faisabilité de l'application du contrôle de la qualité de l'eau par satellite**  
*(Les données de référence concernent des satellites futurs)*

Élément		Satellites en service		
		NOAA	SPOT (IMAGE SPOT)	LANDSAT
1. Cycle minimal d'observations possibles		Quelques heures (4 fois par jour)	De 1 à 4 jours	16 jours
2. Possibilité d'acquérir des données par pays	Plage d'observation possible	Couvre le monde entier	Couvre le monde entier (Certaines régions ne sont pas couvertes pour le moment à cause d'un mauvais fonctionnement d'enregistreur)	Pas de couverture de l'Afrique et de la Russie, etc.
	Fournisseur de données	Stations réceptrices situées dans divers pays, plus NOAA (États-Unis)	Stations réceptrices situées dans divers pays (plus de 10 pays) et Image Spot (France)	Stations réceptrices situées dans divers pays (plus de 10 pays) plus EOSAT (États-Unis)
3. Eléments concernant la qualité de l'eau, pouvant être clarifiés au moyen de la télédétection		Température de l'eau	Turbidité SS (Chlorophylle a)	Température de l'eau, Turbidité SS Chlorophylle a
4. Durée requise pour obtenir les données au Japon		2 semaines (temps réel si les données sont reçues directement)	2 semaines (actuellement 1 mois à 1 mois et demi à cause d'un dérangement des instruments à bord)	De 1 à 2 mois
5. Degré de précision concernant la clarification de la qualité de l'eau	Clarification de la qualité de l'eau	Température de l'eau (A) : Erreur approximative de 0,4°C à 0,8°C	Turbidité (A) : Erreur approximative de 17% à 33% Chlorophylle a (C) : Erreur approximative de 41% à 53%	Température de l'eau (A) : Erreur approximative de 0,1 à 0,2°C Turbidité (A) : À peu près identique à SPOT Chlorophylle a (B) : Supérieure à SPOT
	Résolution	1,1 km (B)	20 m (B)	Température de l'eau : 120 m (B) Turbidité, Chlorophylle a : 30 m (B)
6. Facteurs économiques	Coût de l'observation par satellite	—	Coût de base : environ 300 000 yens + 1 fois environ 50 000 yens	—
	Coût d'acquisition des données	Environ 20 000 yens/scène	Environ 300 000 yens/scène	Environ 450 000 yens/scène
	Installation de la station réceptrice	De l'ordre de dizaines de millions de yens	De l'ordre de plusieurs centaines de millions de yens	De l'ordre de plusieurs centaines de millions de yens

Tableau 3-3-1  
(suite)

ADEOS	Satellites futurs		Remarques
	Early Bird	Quick Bird	
3 jours	Quelques jours	1 jour	À l'exception de NOAA et de LANDSAT, utilisation de la fonction de pointage
Couvre le monde entier (selon l'enregistreur)	Couvre le monde entier (selon l'enregistreur)	Couvre le monde entier compris dans 55° de latitude (selon l'enregistreur)	À l'exception de NOAA et de LANDSAT, observations uniquement aux heures et dans les plages requises
À l'origine NASDA (Japon)	Earth Watch (États-Unis) et fournisseurs dans divers pays (Hitachi Corp. au Japon)	Earth Watch (États-Unis) et fournisseurs dans divers pays (Hitachi Corp. au Japon)	
Température de l'eau, Turbidité, SS, Chlorophylle a	Turbidité, SS (Chlorophylle a)	Turbidité, SS, Chlorophylle a	Les valeurs pour les éléments indiqués entre parenthèses ( ) sont relativement peu précises. En plus des éléments concernant la qualité de l'eau, on peut également clarifier la masse de plancton (fleurs d'eau) et la répartition de la végétation sur les rives du lac.
Non déterminée (on considère qu'il s'agit approximativement de la même durée que pour LANDSAT)	3 jours (demande urgente)	3 jours (demande urgente)	Cela peut prendre plusieurs mois et même plus dans le cas de stations réceptrices situées à l'étranger.
Température de l'eau (A), Turbidité (A) : À peu près identique à LANDSAT Chlorophylle a sup. (B) à (A) : Précision égale ou meilleure que LANDSAT	Turbidité (A), Chlorophylle a (B) : pour ces deux éléments, précision à peu près identique à SPOT	Turbidité (A), Chlorophylle a (B) : pour ces deux éléments, précision à peu près identique à LANDSAT	Estimation concernant les satellites futurs : (A) Élevé, (B) Moyen, (C) Faible.
Température de l'eau, Chlorophylle a (haute précision) : 700 m (C) Turbidité, Chlorophylle a (précision réduite) : 16 m (B)	15 m (B)	3,2 m (A)	Plus la résolution est élevée, plus est réduite la plage d'observation. Les symboles sont expliqués dans la remarque précédente.
Non déterminé	Non déterminé (Est-ce que le but visé est le même que pour la photographie aérienne ?)	Non déterminé (Est-ce que le but visé est le même que pour la photographie aérienne ?)	Le coût d'observation pour l'observation par pointage (continue) est élevé.
Non déterminé	Non déterminé	Non déterminé	
Inconnu	Inconnu	Inconnu	Le coût d'un système d'analyse d'images est de l'ordre de plusieurs dizaines de millions de yens.

Table 3-3-1  
Feasibility of application to water quality monitoring by satellite (future satellites is reference data)

Item		Satellites in Service		
		NOAA	SPOT (SPOT IMAGE)	LANDSAT
1. Minimum Possible Observation Cycle		A few hours (4 times/day)	1 to 4 days	16 days
2. Possibility of Acquiring Data by Nation	Feasible Observation Range	Covers entire world	Covers entire world (Some areas now omitted because of a recorder breakdown)	No coverage of Africa and Russia etc.
	Data Provider	Receiving stations in various countries plus NOAA (US)	Receiving stations in various countries (more than 10) and Spot Image (France)	Receiving stations in various countries (more than 10) and EOSAT (US)
3. Water Quality Items Which Can be Clarified by R/S		Water temperature	Turbidity, SS (Chlorophyll a)	Water temperature, turbidity, SS Chlorophyll a
4. Time Required to Acquire Data in Japan		2 weeks (real time if received directly)	2 weeks (now 1 to 1.5 months because of instrument failure)	1 to 2 months
5. Water Quality Clarification Precision	Water Quality Clarification	Water temperature (A) : Error of approx. 0.4 to 0.8°C	Turbidity (A) : Error of approx. 17 % to 33% Chlorophyll a (C) : Error of approx. 41 % to 53 %	Water temperature (A) : Error of approx. 0.1 to 0.2°C Turbidity (A) : About the same as SPOT Chlorophyll a (B) : Better than SPOT
	Resolution	1.1 km (B)	20 m (B)	Water temperature : 120 m (B) Turbidity, Chlorophyll a : 30 m (B)
6. Economic Factors	Satellite Data Observation Cost	-	Basic cost : Approx. 300 000 yen + 1 time Approx. 50 000 yen	-
	Data Acquisition Cost	Approx. 20 000 yen/scene	Approx. 300 000 yen/scene	Approx. 450 000 yen/scene
	Receiving Station Installation	Order of several 10 million yen	Order of several 100 million yen	Order of several 100 million yen

Table 3-3-1  
(continued)

Future Satellites			Remarks
ADEOS	Early Bird	Quick Bird	
3 days	days	1 day	Excepting NOAA and LANDSAT, use of pointing function.
Covers the entire world (Depending on the recorder)	Covers the entire world (Depending on the recorder)	Covers the entire world within 55° latitude (Depending on the recorder)	Excepting LANDSAT, NOAA, observations only in times and ranges basically required.
Initially NASDA (Japan)	Earth Watch (US) and suppliers in various countries (Hitachi Corp. In Japan)	Earth Watch (US) and suppliers in various countries (Hitachi Corp. In Japan)	
Water temperature, Turbidity, SS, Chlorophyll a	Turbidity, SS (Chlorophyll a)	Turbidity, SS Chlorophyll a	Items in ( ) are rather low precision. In addition to water quality items, it can also clarify plankton mass (water - bloom) and lake shore vegetation distribution.
Undecided (Assumed to be about the same as LANDSAT)	3 days (rush request)	3 days (rush request)	It may take several months or even longer in the case of overseas receiving stations.
Water temperature (A), Turbidity (A) : about the same as LANDSAT Chlorophyll a > (B) to (A) : About the same as LANDSAT to good	Turbidity (A), Chlorophyll a (B) both about the same as SPOT	Turbidity (A), Chlorophyll a (B) both about the same as LANDSAT	Estimations for future satellites. (A) : high, (B) : medium, (C) : low.
Water temperature, Chlorophyll a (high precision) : 700 m (C) Turbidity, Chlorophyll a (low precision) : 16 m (B)	15 m (B)	3.2 m (A)	The higher the resolution, the narrower the observation range. The symbols are explained in the previous remark.
Undecided	Undecided (Is the goal about the same as aerial photography?)	Undecided (Is the goal about the same as aerial photography?)	Observation cost for pointing (continuous) observations are high.
Undecided	Undecided	Undecided	
Unknown	Unknown	Unknown	An image analysis system is in the order of several 10 million yen

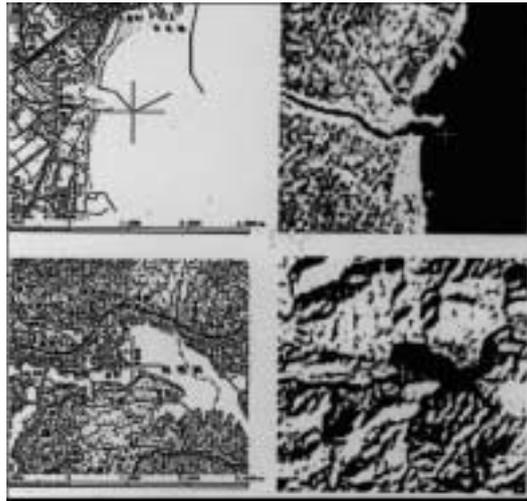


Tableau 3-6-1

Exemples de bandes utilisées par les éléments de la qualité de l'eau et les satellites

Satellite	Température de l'eau	SS (turbidité)	Chlorophylle a	Longueurs d'onde des bandes (µm)
LANDSAT	Bande 6	Bande 3, etc.	Bande 1/3 Bande 2/3	Bande 1 : 0.45 ~ 0.52 2 : 0.52 ~ 0.60 3 : 0.63 ~ 0.69 6 : 10.4 ~ 12.5
SPOT	-	Bande 2, etc.	Bande 1/2 Bande 3, etc.	Bande 1 : 0.50 ~ 0.59 2 : 0.61 ~ 0.68 3 : 0.79 ~ 0.89
NOAA	SST (valeurs calculées des bandes 3, 4 et 5)	-	-	Bande 3 : 3.5 ~ 3.9 4 : 10.3 ~ 11.3 5 : 10.5 ~ 12.5

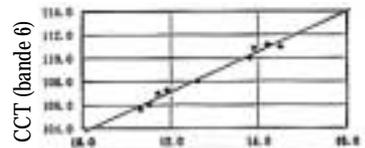
Lake Biwa

(°C)

No.	Stations de mesure automatique	CCT (Bande 6)	Température réelle de l'eau	Valeur prévue	Précision
1	Biwa Bridge	110.85	13.9	14.2	0.3
2	Ogoto Offing	108.99	12.6	12.5	0.1
3	Kusatsu	105.60	11.3	11.1	0.2
4	Mihogasaki	107.00	11.7	11.9	0.2
5	Karatsu	106.00	11.5	11.3	0.2
6	Seta	107.30	11.9	12.1	0.2
7	Adogawa River Offing	111.15	14.2	14.3	0.1
8	Hikone	110.00	13.8	13.7	0.1
9	Okinoshima	110.95	14.5	14.2	0.3
Valeur absolue et valeur moyenne d'erreur (°C)					0.19

Corrélation entre la température mesurée de l'eau et le CCT (B6)

17-11-1995



Mesure de la température de l'eau (°C)

$$y = 1.7144x + 85.557$$

$$R^2 = 0.9743$$

Fig. 3-6-1

Exemple d'analyse de corrélation entre les valeurs des données satellitaires et les valeurs mesurées de la qualité de l'eau (température de l'eau)

Fig. 3-5-1  
 Example of ground control points  
 (Source : Thermal Infrared Remote Monitoring Technology and Reality)  
*Exemple de points de contrôle au sol*

Table 3-6-1  
 Examples of bands used by water quality item and by satellite

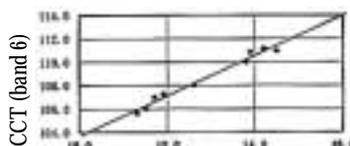
Water Quality Item Satellite	Water Temperature	SS (turbidity)	Chlorophyll a	Band Wave Lengths (μm)
LANDSAT	Band 6	Band 3 etc.	Band 1/3 Band 2/3	Band 1 : 0.45 ~ 0.52 2 : 0.52 ~ 0.60 3 : 0.63 ~ 0.69 6 : 10.4 ~ 12.5
SPOT	-	Band 2 etc.	Band 1/2 Band 3, etc.	Band 1 : 0.50 ~ 0.59 2 : 0.61 ~ 0.68 3 : 0.79 ~ 0.89
NOAA	SST (computed values of bands 3, 4, & 5)	-	-	Band 3 : 3.5 ~ 3.9 4 : 10.3 ~ 11.3 5 : 10.5 ~ 12.5

Lake Biwa

(°C)

No.	Automatic Measurement Stations	CCT (Band 6)	Actual Water Temp.	Forecast Value	Precision
1	Biwa Bridge	110.85	13.9	14.2	0.3
2	Ogoto Offing	108.99	12.6	12.5	0.1
3	Kusatsu	105.60	11.3	11.1	0.2
4	Mihogasaki	107.00	11.7	11.9	0.2
5	Karatsu	106.00	11.5	11.3	0.2
6	Seta	107.30	11.9	12.1	0.2
7	Adogawa River Offing	111.15	14.2	14.3	0.1
8	Hikone	110.00	13.8	13.7	0.1
9	Okinoshima	110.95	14.5	14.2	0.3
Absolute value and average value of error (°C)					0.19

Measured water temperature  
and CTT correlation  
1995.11.17



Measured water temperature (°C)

$$y=1.7144x + 85.557$$

$$R^2 = 0.9743$$

Fig. 3-6-1  
 Example of a correlation analysis of satellite data values and measured water quality values  
 (water temperature)

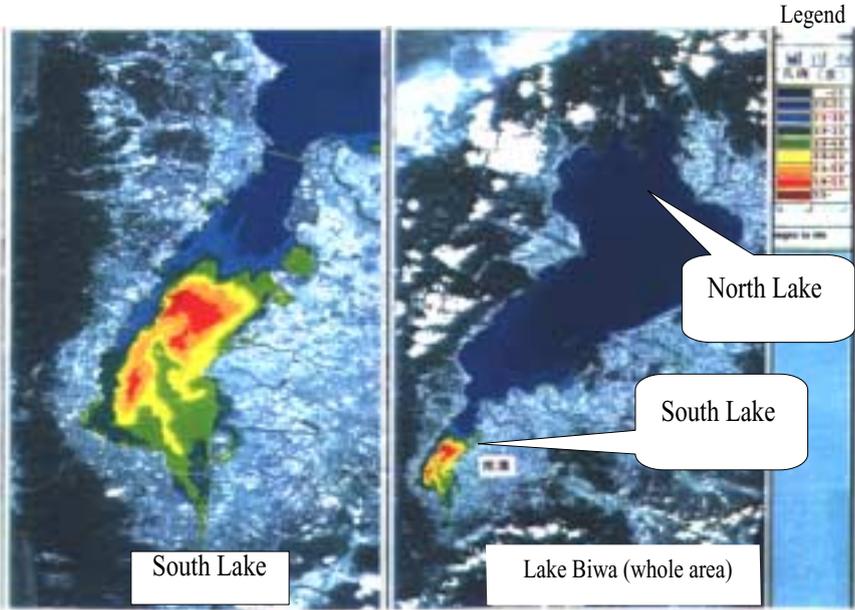


Fig. 3-7-1

Example of a water quality distribution image (turbidity)

*Exemple d'image de répartition de la qualité de l'eau (turbidité)*

South Lake

*Lac Sud*

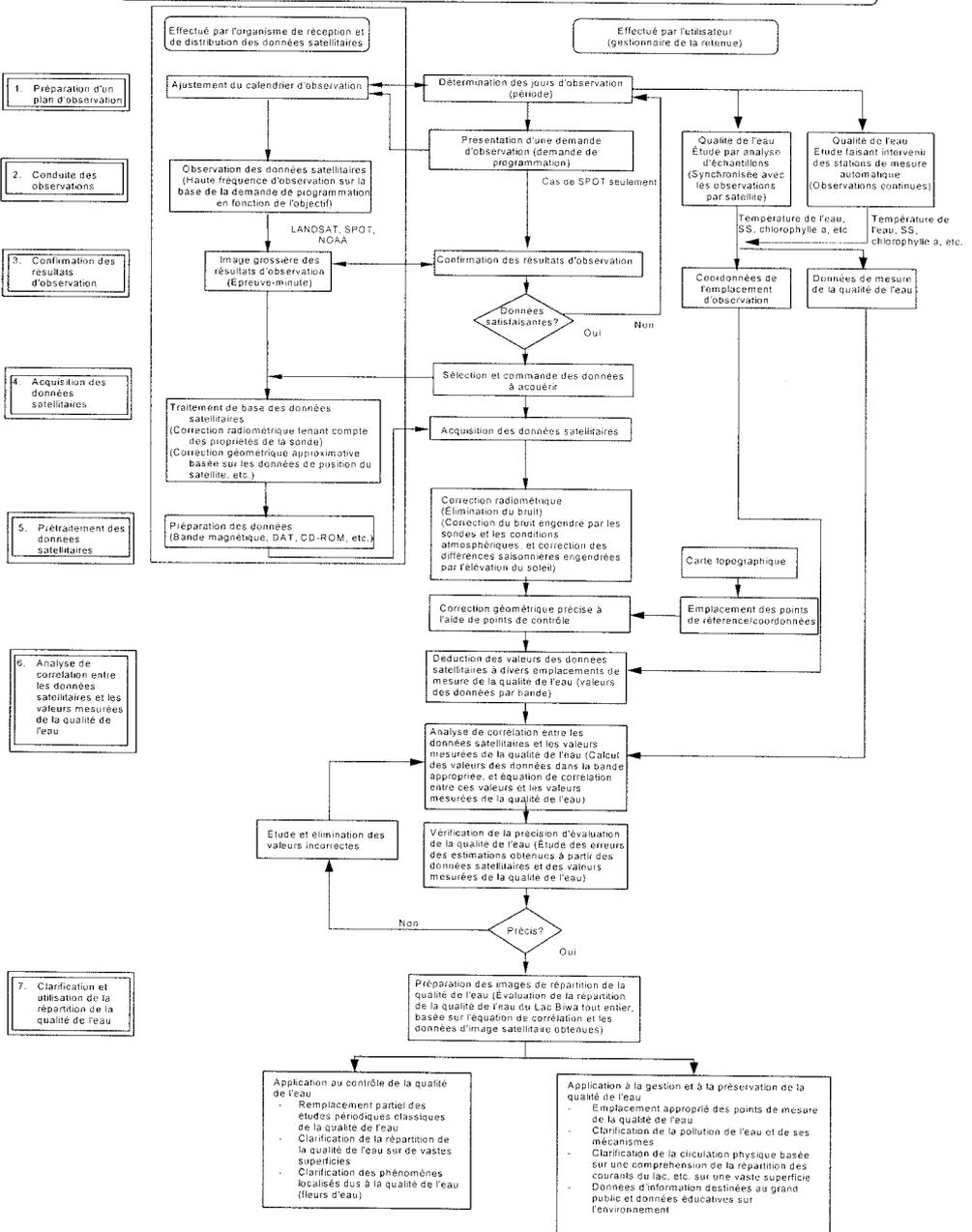
North Lake

*Lac Nord*

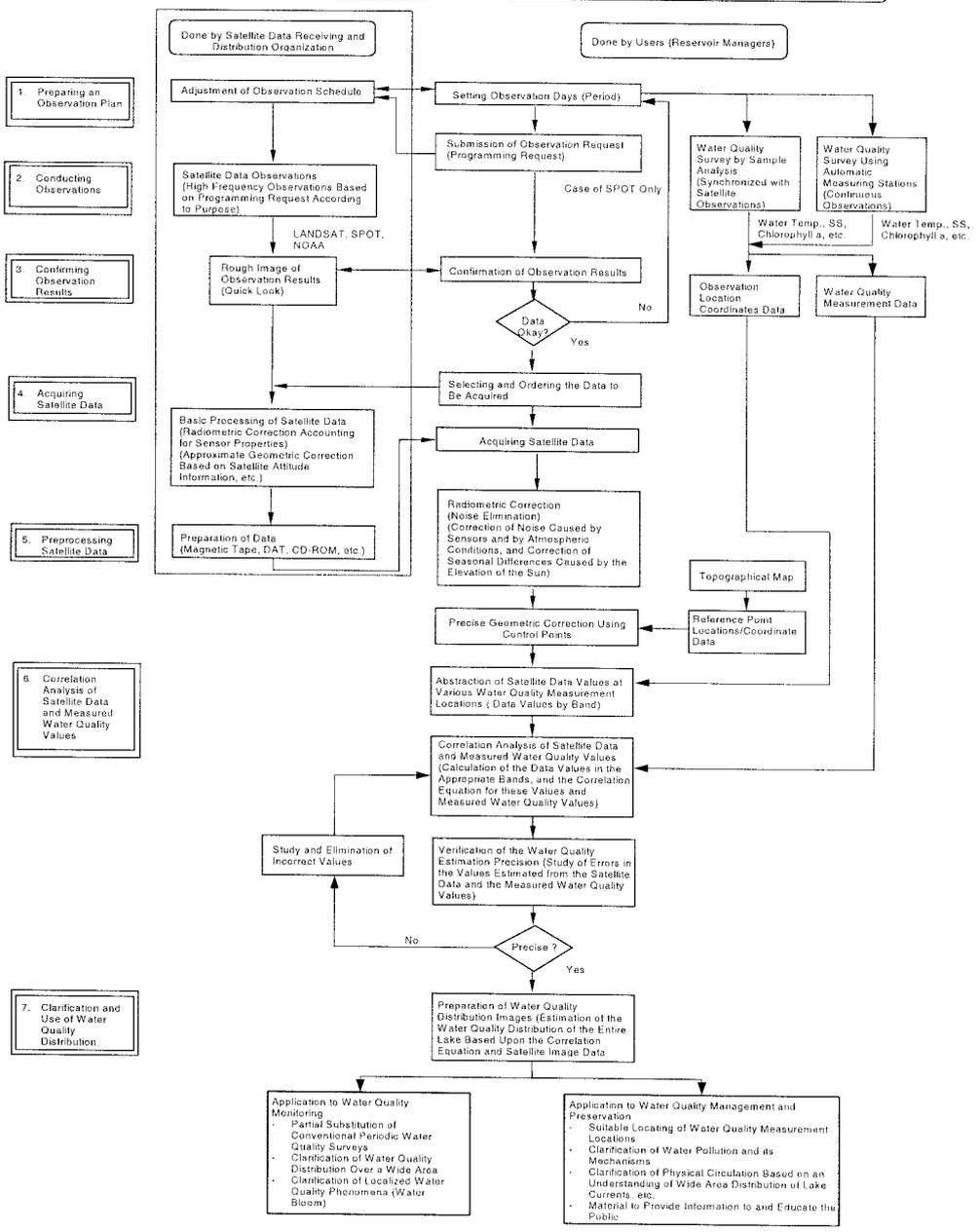
Lake Biwa (whole area)

*Lac Biwa (vue complète)*

**Contrôle périodique quantitatif de la qualité de l'eau sur la base de nouvelles données d'observation (Deuxième étape)**



**Quantitative Periodical Water Quality Monitoring Based on New Observation Data (Second Stage)**





**Imprimerie de Montlignon**  
**61400 La Chapelle Montlignon**  
**Dépôt légal : Janvier 2004**  
**N° 23367**  
**ISSN 0534-8293**



---

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS  
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES  
151, boulevard Haussmann - 75008 Paris - France  
Téléphone : (33) 01 53 75 16 52 - Fax : (33) 01 40 42 60 71  
<http://www.icold-cigb.org/>

**Copyright © ICOLD - CIGB**

*Archives informatisées en ligne*



*Computerized Archives on line*

*The General Secretary / Le Secrétaire Général :  
André Bergeret - 2004*



---

**International Commission on Large Dams  
Commission Internationale des Grands Barrages  
151 Bd Haussmann -PARIS -75008**  
*<http://www.icold-cigb.net> ; <http://www.icold-cigb.org>*