

大成建設(株) ○大竹 公一  
 青島 正和

## 1 はじめに

リモート・センシング(以後R/Sと記す)は、もともと米国の人工衛星利用法の一つとして考えられた新技術で、人工衛星で撮影した地表画像から地表付近の状態を観察し軍事や民事に役立てようとしたものである。R/Sという言葉が日本で初めて一般的に使用されたのは昭和48年頃で、当初は人工衛星(当時ERTSと呼ばれていた)の軍事への利用が主であったが、その後の技術の進歩と相俟って民事への利用も促進され、現在では「気象衛星”ひまわり”による天気予報など、国や県レベルの特に広い地域を対象とする分野で実用化が為されている。それと共にこの新技術を、より産業に密着した分野に応用できないかと言うことで、現在では、産業、医療、地下水、海洋等、当初考えもしなかった分野に迄応用されようとしている。もちろんこれら新分野への応用は、現在鋭意その技術の開発がなされており、まだまだ実用化したとはいえないものが大半であるが、今後徐々に実用化され、また、将来においては土木分野での施工情報システムの中にも多数利用されてくると思われる。

そこで、ここでは現場計測への可能性を含めた形として応用主体のR/Sの歴史を簡単に述べたい。R/Sは新技術ではあるが、その発想は古くからあり、19世紀に気球搭載カメラにより初めて空から地表を撮影した時に迄その原点をさかのぼることができる。ただし現在の様な意味でのR/Sは、第2次大戦中米軍が日本の前線基地である飛行場の飛行機の種類判別に利用したことが最初かと思われる。

その後軍事利用の面で技術開発が為され、やがて汎用人工衛星の打上げと共に民事レベルへの応用が考えられ始めた。ERTS衛星がその始まりで、その後何度か変更され現在はLANDSAT4号となっている。また、従来米国に限られていた人工衛星R/Sは各国でその重要性が認識され初め、仏、加、印、欧、日が各々独自の衛星を打上げようとしており、しかも地表がどこ迄みえるかを示す指標である

地上解像度も1kmから10m付近に迄高められつつある。

ところでR/Sに必要なものにはプラットフォーム、センサー、データ通信、データ処理(解析)の諸装置並びにソフトウェアがある。このうちセンサーについては可視光以外の音波や赤外線・マイクロ波など各種の電磁波を対象とした計器が採用されて来ている。またプラットフォームについても人工衛星以外に航空機・気球・地表などが採用されている。

現在ではR/Sをこれらの技術に一般的な技術を包含させた”SSE\*”新技術“としてとらえられてきている。

\* SPACE SPECTRUM ELECTRONICS

## 2 処理概要と産業への応用

一般的なR/Sの処理概要について簡単に説明すると共に、産業R/Sの特徴について述べる。

### 2.1 処理形態

#### (1) データ収集

R/Sでのデータ収集に関連する項目は4つある。それらはデータを収集するリモートセンサー、センサーを搭載するプラットフォーム、収集されたデータの伝送、航法・軌道論の4つである。

リモートセンサーは、地球表面から反射あるいは放射する電磁波を捕えて、画像にする装置である。R/Sで取り扱われるスペクトル帯域と、そこでの代表的なセンサーを図2.1に示す。

マイクロウェーブ領域のセンサーには、地表からの熱放射を計測するラジオメータと、電磁波を発射して地表までの反射を計測するレーダとがある。マイクロウェーブは、大気や雲を透過するので、天候に左右されないという利点があるが、解像力は可視光赤外線領域でのセンサーより小さい。可視光赤外線領域のセンサーとして特筆すべきものはマルチバンドカメラとマルチスペクトル

理である。もう1つの重要な手法として空間フィルタ処理がある。これは画像フーリエ変換して、空間周波数軸上でいろいろな処理を実行するものである。空間フィルタの特性を変化させることにより、種々のエンハンスメントが実行できる。

画像解析として現在までに種々の解析方

分類のための代表的な手法として、多次元スライス法、統計的な最尤推定法、教師なしの分類等がある。

( $i = 1, \dots, n$ )での上限値 $X_{i,j} \max$ と下限値 $X_{i,j} \min$ を求めて、これでパターンクラスを形成する方法である。

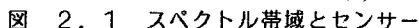
b) 統計的な最尤推定法 : クラス間に重なりのある場合でも分類を実行するには、統計的なパターン認識の手法を導入せねばならない。

C) 教師なしの分類 : 前述の2つの方法は、トレーニングエリアを設定し、そこでのサンプリングデータから、パターンクラスを設定したが、トレーニングを行わずに、データ自身の測定値空間での散布状況からの類似性を見出し、これによる分類を行い地表と対応させて、その意味付を行うアプローチである。

(日本機械工業連合会 報告書より抜粋)

日本機械工業連合会（以後日機連と記す）では R/S 技術を産業用に応用することを計画し、研究に着手している。これまではあらゆる産業に不可欠の“計測”はすべて点測定であったものが、R/S によれば“面”で“立体的”に“一切接触せず”に多次元測定が可能となる。

ここで人工衛生を用いた例えば気象衛生やLANDSATのような高高度観測、産業R/Sのよ



情報抽出のためのデータ処理方法は、大別して2つある。1つは写真映像を利用して光学的に処理するアナログ処理方式、もう1つは、デジタルな画像データを直接コンピュータで処理するデジタル処理方式である。ここではマルチスペクトル画像データのデジタル処理に的を絞ってその概要を述べる。

これを除去するのに画像座標系から地図座標系へ座標変換し、既存の地図と重ね合わせられるようにするのが幾何的補正である。

この中から、対象物からの反射と放射以外の因子が及ぼす影響を除去する作業が放射系の補正である。

c) 画像のエnhansメント : 比較的簡単なものとしては、入力画像の階調と、出力画像の階調との対応関係を自由に变化させる階調処

じてくることは明らかであり、中心技術は1つと

表 2. 1 高高度観測R/Sと地表

(産業用) 観測R/S技術の特徴比較

| 高高度リモート・センシング<br>(人工衛星型リモート・センシング)                                                                                          | 項 目            | 地表型リモート・センシング<br>(産業リモート・センシング)                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 観測面積が広く、その位置情報やポジショニングが問題になる。                                                                                               | 観 測 情 報        | 観測面積は比較的限られた範囲であり、位置情報は容易に知ることが出来、ポジショニングの問題もほとんどない。                                                                    |
| 紫外線域からマイクロ波領域に渡られる。ただし目的により受動および能動方法とも使用される。                                                                                | スペクトルの<br>波長範囲 | 対象物からの距離が短いためY線やX線からマイクロ波まで適用可能であり、場合によっては電磁波以外の音響計測まで含み得る。もちろん受・能両方式とも使用可能である。                                         |
| 人工衛星に搭載されるための制約を満足していなくてはならない。すなわち、小形、軽量化、打上げの衝撃に耐え、宇宙環境下で十分な信頼度をもつ装置でなくてはならない。                                             | 観 測 機 器        | 地上設置が主体であるから搭載上の問題等はないが使用環境すなわち塵埃や振動等の悪条件に耐えることが必要。                                                                     |
| 高高度の衛星から地上に多量の情報を送る必要があるため無線伝送によらなければならない。そのため衛星および地上局に高信頼度の送受信システムを必要とする。                                                  | 情 報 伝 送        | 観測箇所の増加につれて取扱う情報は膨大なものになるが、距離が短いので情報伝送それ自身は問題にならないが、膨大な情報をどのようにして送るかはかなり問題となる。                                          |
| 観測周波数帯が狭い上、搭載用の条件に耐えなければならないので、新しいセンサやセンシング・システムの採用には時間を要する。                                                                | センシング・システム     | 据置型が主体であり、観測対象も千差万別であるから各種のセンサが使用され、新技術の開発に繋がる可能性がある。                                                                   |
| 使用目的にもよるが、オン・ライン・リアルタイムの情報処理は必要としない。むしろ比較的ゆっくりした情報処理システムでオフ・ラインの使用でよい場合が多い様である。ただし将来は相当高速のリアルタイム処理を必要とするシステムが要求されることも考えられる。 | 情報処理システム       | 産業用として使用する場合にはある目標に対して制御技術的に閉ループを作っていることが主体になるのでオン・ライン・リアルタイム処理が主体になる。取扱うデータは膨大なものになるのでリモート・センシングに適した高速情報処理方法の開発が必須である。 |
| グランド・ツルースによるデータの照合は長期間に亘るデータ収集とグランド・ツルースによる検証を要し、その積み重ねがなければ真の利用は望み得ない。                                                     | グランド・ツルース      | スペクトル特性が一定していてグランド・ツルースに相当する照合作業が容易であることが大きな特長である。                                                                      |
| 人工衛星に限らず、航空機用までを含めて考えたとしてもわが国が必要とする関連機器の台数はそれ程、大きな数字になることは期待出来ない。リモート・センシング産業として独立することは不可能である。                              | 市 場 性          | 非常に広範な利用分野があり、かなりな産業分野となり得る。                                                                                            |

うに地上または低高度よりの観測を地表観測として、それぞれの特徴を比較してみる。これを表2. 1に示す。

これにより、産業R/Sでは市場性もあり、グランドツルースも容易である上、相当大きな広い用途が考えられる。

次に高度と利用波長に対してどのような利用項目があるかの1例を図2. 2に示す。

以上、これまではR/S技術を高度別に眺めて特徴を比較してきたが、基本となる技術は同じもので、搭載に伴って実用化の段階で種々の差が生

考えてよい。その中心技術の特徴は空間情報を持つことと、物質のスペクトル特性を用いることに集約されるであろう。

次に産業界でR/Sを必要とする業種を考えてみると、建設・電機・機械・鉄鋼・運輸・原子力など広範に及び、応用分野についてもシステム保全、工程管理、産業災害防止、設備診断と多岐にわたる産業R/Sの利用も行なわれて来つつあるが、まだ種々の問題点があり、さらに全産業をあげて産業R/S技術の開発・普及にあたらなければならない。

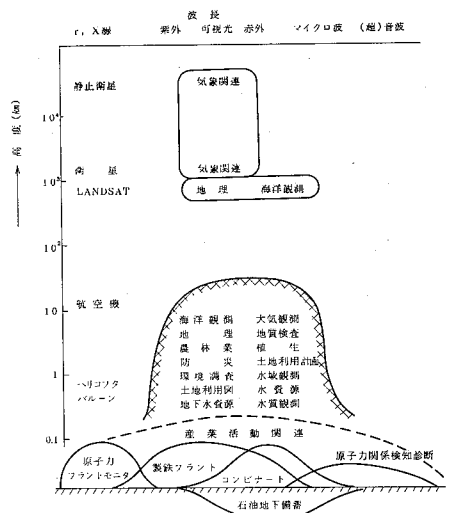


図 2.2 高度・波長別R/Sの利用項目

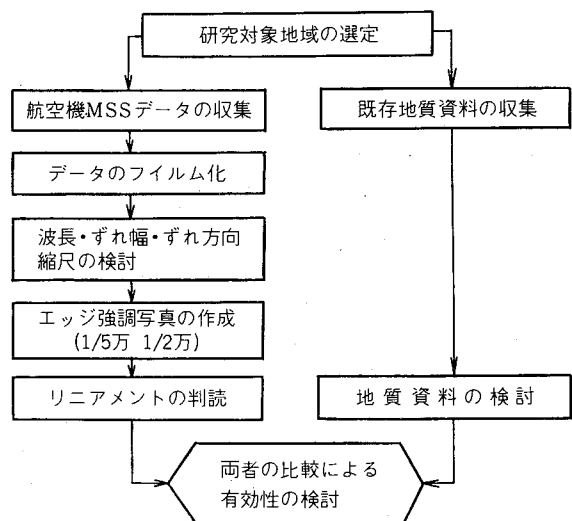


図 3.1 研究のフローチャート

### 3 土木工事への応用

#### 3.1 航空機MSSデータによるリニアメントの判読

ダム・トンネル・地下発電所等の土木構造物の建設に際しては、サイト選定のための事前調査が実施されている。 サイト候補地域の地質構造の概略は、航空写真（縮尺1/5 万～1/2 万）の立体視によってリニアメントを判読して知ることができ、これにより以後の地上調査を効率的に進めることができる。

今日、人工衛星MSS (multi spectral scanner) データをエッジ強調処理した写真（縮尺1/25 万）からリニアメントの判読をする研究が行なわれ、その有効性が認められるようになってきた。そこで今回、航空機MSSデータをエッジ強調処理した写真から、より細かなリニアメントを判読する方法を確立することを目的とし、従来の立体視による航空写真と同縮尺で、リニアメント判読に最適な写真の作成方法を検討し、この写真から判断したリニアメントが、既存の地質踏査による資料とどのような対応性を示すか研究したものである。

結果は、写真に示す通り、航空機MSSデータをエッジ強調処理した写真からリニアメントを判読する方法は有効であり、土木構造物のサイト選定に際し、縮尺5 万分の1 から2 万分の1 を対象とする事前調査に利用できる見通しが得られた。

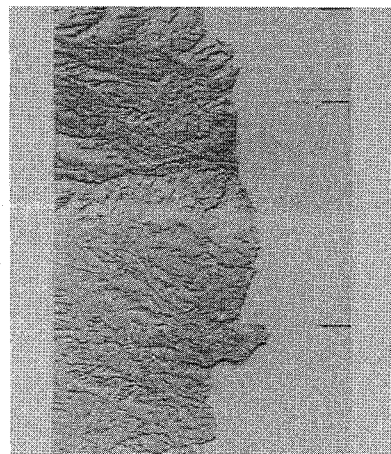


写真 3.1 稲取地区エッジ強調写真

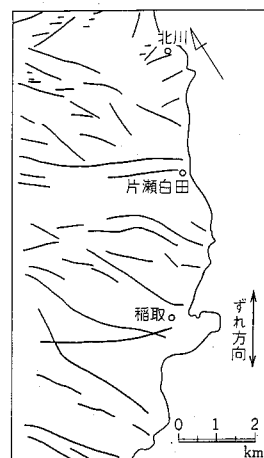


写真 3.2 稲取地区判読リニアメント図

### 3. 2 鶴見川流域の洪水発生期待値の変化

鶴見川流域は急激な宅地開発等により森林や田畑の面積が減少している。この結果流域全体としての地表の保水能力は減り、豪雨時には雨水が一時に河川に流入して洪水を引き起こす危険性が大きくなる。従来地表の保水能力は航空写真や土地利用図を利用して、主に人力で推定していたが本地域の様に数年で様変わりする所では、その調査が開発のスピードに追いつくことが難しい。そこで航空写真のデータを電算機により自動処理を行なうことで簡易にスピーディに流域の保水能力を算定する方法を開発した。今回は航空写真を用いて行なっているが、次年度打上げが予定されている人工衛星データを用いるようになれば、解析範囲の拡大が期待できる。

今回は昭和52年作成の土地利用図と、昭和57年撮影の高高度航空写真から各々全域に渡る土地利用状況を調べ保水能力の変化を抽出した。

結果は、写真に示す通り、変化がよくとらえられている。なお、本検討は(株)建設技術研究所が建設省からの受託で行なったものである。

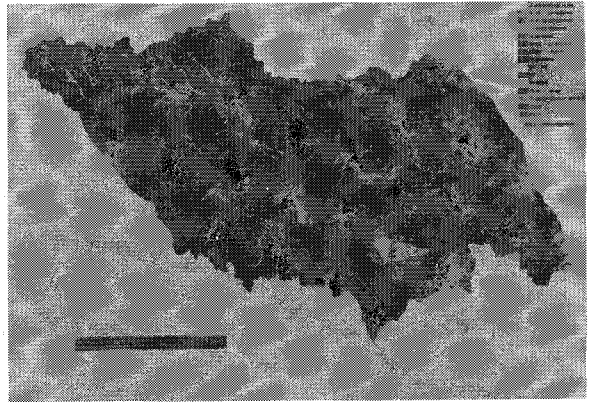


写真 3. 3 昭和52年 土地利用図

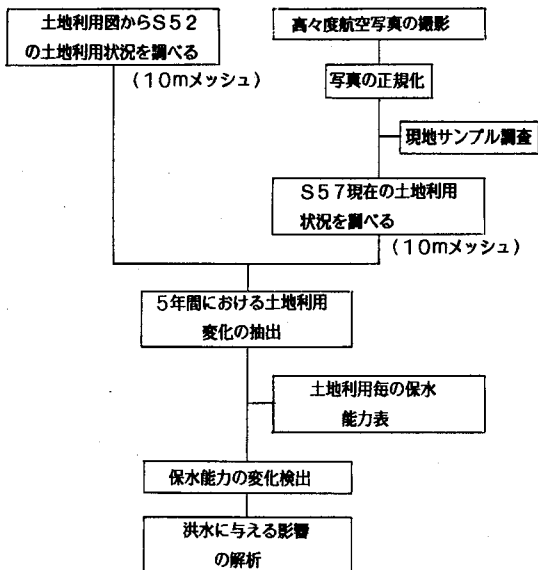


図 3. 2 解析フローチャート

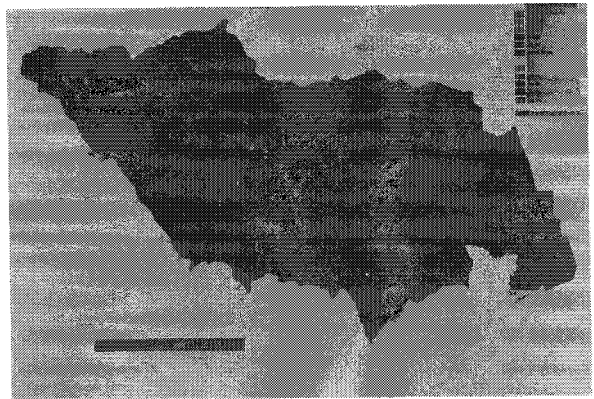


写真 3. 4 昭和57年土地利用状況  
(MSSデータ使用)

#### 4 計測処理の未来について

先端技術として、LSI、マイコン、光ファイバー、レーザーあるいはCCD\*などが目覚ましく技術発展すると考えられている。これらの機器の組合せによって高度化し、従来にはない機能の機器を生み出す応用の時代を迎える。これらの組合せ技術の応用として、SSE技術が位置しており、その将来像は計り得ない程大きく変容し、応用範囲は広がるものと思える。

##### \* CHARGE COUPLED DEVICE

日機連では、産業リモート・センシングの研究開発の必要性として、①産業界においては各種プラントの操業の高度化（品質向上、生産性向上、省力化、省エネルギー化、安全操業、設備の効率的利用）を発展させるためには、プラント監視診断システムを開発し、運転制御システムと結合させることが必要である事。②SSE新技術の応用による生産技術の高度化、③安全管理技術の応用による生産技術の確立のため、SSE新技術を応用したプラント監視診断システムの開発をあげている。これらの為に、プラントに関する複数のサブシステムを提案している。

イ) 成分監視診断システム

ロ) 損耗監視診断システム

ハ) 形状監視診断システム

ニ) 温度監視診断システム

ホ) 発熱監視診断システム

ヘ) 振動監視診断システム

ト) 放射線監視診断システム

チ) 漏洩監視診断システム

リ) 欠陥監視診断システム

ヌ) 流出物監視診断システム

ル) ロボット巡回監視診断システム

上記システムをプラントに設置し、プラント内で全体システムとして有効に働くかを実証することを提案している。

人工衛星による高高度型、航空機による中高度型のR/Sは、分解能の向上、波長帯の増加とともに、グランドトゥースデータの蓄積、分類手法の改良によって応用範囲は広がると思える。特に静止型衛星の利用により、データ処理が同時進行性を持つに従って、気象、海洋、各種防災、公害等面的領域へ

影響する事は多いと思える。

ここで現場計測への応用について考えて見ると、次のような問題があげられる。項目を挙げると、

○建設工事は単位面積当たりの価値が低く、かつ単品生産なので、使用できる計測用コストに限られる。

○施工情報には点的で高精度なものの他に広い範囲の面的なものが必要であるが、計測装置の開発が遅れていることもあり、それに対する認識が低い。

となる。将来これらの点が解決された、つまり安くて高品質な計測システムができ上がった時何ができるかを以下に思いつくま列記する。

○立地条件の確認ならびに概略土工量、工法の把握

○人工地盤（盛土、切土、擁壁、地盤改良）の性状（安定性、圧密性）の把握

○構造物、地盤の荷重に対する変形、応力集中、破壊の把握

○災害時（地震、異常気象等）の地盤ならびに構造物の挙動と被害状況の把握

#### 参 考 文 献

○産業リモート・センシング ; (社) 日本機械工業連合会

○リモートセンシング・ノート 技報堂

○鹿島建設技術研究所年報 第28号