

# 地球資源衛星(アーツ)計画の概要

丸 安 隆 和\*

## 1. アーツ計画の概要

“公害をはじめとする環境問題は、全世界的な規模で広がっている。地球上には経済発展段階や自然環境のちがう百数十の国が存在しているが、地球を救うためには、これらの国々が、協力して問題の解決策に取り組みなければならない時期になっている”。

“われわれは、地球というこわれ易い宇宙船上に、大気と水と土との恵みを受け、限られた天然資源を利用し、または再利用しながら生きている。地球の居住可能な地域はすべて開発された現在、それを大切に維持していくことが、人類が生きのびるためにも、また、世界中の人々が快適な生活設計をしていくためにも、絶対に必要なこととなった。宇宙船としての地球の限界を認識したうえで、内在する問題の現状を把握し、今後も発展していく文明に対応できる、全地球的な態勢を整えておかなければならない。

(Barbara Ward; Rene Dubos: かけがえのない地球、から)

地球を救うため、人類が生存していくため、いま全世界が協力してその対策をたてなければならないという重大な事態に対処して、アメリカ合衆国航空宇宙局 (NASA) が、地球資源衛星 (Earth Resources Technology Satellite) 計画略称 ERTS (アーツ) 計画を始めた。これによって、全地球の刻々の新しい情報を収集し、これを全世界に提供して問題の所在を解明する資料に利用しようというのである。すでに、その第1号が1972年7月23日に打ち上げられ、現在地球を回りながら写真を取り続けている。

アーツ衛星から写真をとる装置 (Sensor と総称する) で現在作動しているのは、マルチスペクトル スキャンナー (Multi Spectral Scanner) だけであるが、これによってマルチスペクトル写真がとられ、そのデータは電気信号として、アメリカ合衆国の上空にきたとき地上局に送られ、それをそのままマグネチックテープに記憶させ、また必要に応じて写真像にして、登録された世界中の研

\* 正会員 工博 東京大学教授 (科学技術庁資源衛星判読検討会主査)

究者に配布している。わが国にも多くの写真が届いており、それぞれの分野で解析が進められている。

これら写真のもつ情報量の豊富さと質のよさは、従来写真に対して、われわれが経験したものよりはるかにすぐれ、今後の研究調査への多大の貢献が期待できる。

アーツ衛星はその名のように実験衛星であって、これから得られたデータが、今後どのように地球資源の有効管理に役立てることができるか、その可能性をさぐるのが目的で、そのため世界各国に協同研究を呼びかけた。世界の国々では、それぞれ抱えている懸案の問題について協同研究を申し込んだ。わが国では科学技術庁が窓口になり4課題を提案したが、そのうち次の2課題が採択された。すなわち

### (1) Environmental Change Pattern in JAPAN

主任研究者 丸安隆和 (東京大学)

長期的に日本全土の自然環境や汚染の状況を調べ、基礎的な国土保全の資料を得ることをめざす。

### (2) The Study of Meso-Scale Phenomena,

Winter Monsoon Cloud and Snow Area

主任研究者 土屋 清 (気象庁)

中規模気象の研究を対象としている。ニンパス、エッサなどの気象衛星は、台風の動きや大きい気圧配置などの大規模気象を対象にしている。アーツデータには、はるかにきめ細かい情報が期待できるので、たとえば、集中豪雨や豪雪の機構解明に役立たせることができると考えられる。

アーツ計画は、第1号に続いて第2号が1976年に計画されている。スカイラブ計画もその間に始まった。これら一連の宇宙開発計画は、アメリカ合衆国が国の威信をかけて行なったアポロ計画までの宇宙開発から大きな転換がなされたといえるだろう。これからの宇宙開発は人類の福祉と繁栄を求めて、国際的な基盤のうえに立った計画へと進むことになると思われる。

地球資源というとただ鉱物資源だけを指すものと考えられるが、ここでいう資源はもっと広い意味のもので、たとえば、土地、植物、水、空気など、地球上に住む人類の生活に直接・間接に関係をもつすべてのものが対象

であり、さらにこれらを管理するために必要な資料、たとえば、開発途上国における地図作成や土地利用図の作成なども利用面の中に含まれる。

一般に、人工衛星、航空機など遠く離れたところから地球上の諸現象を探查する技術を、リモートセンシング (Remote Sensing) と呼ぶが、アーツ計画を契機に、この新しい技術が飛躍的な発展をとげつつある。

## 2. 地球資源衛星 1号 (ERTS-1)

### (1) ERTS-1 の軌道諸元の概要

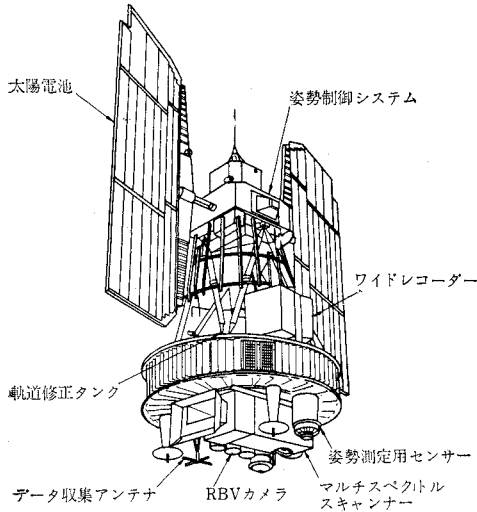


図-1 アーツ衛星

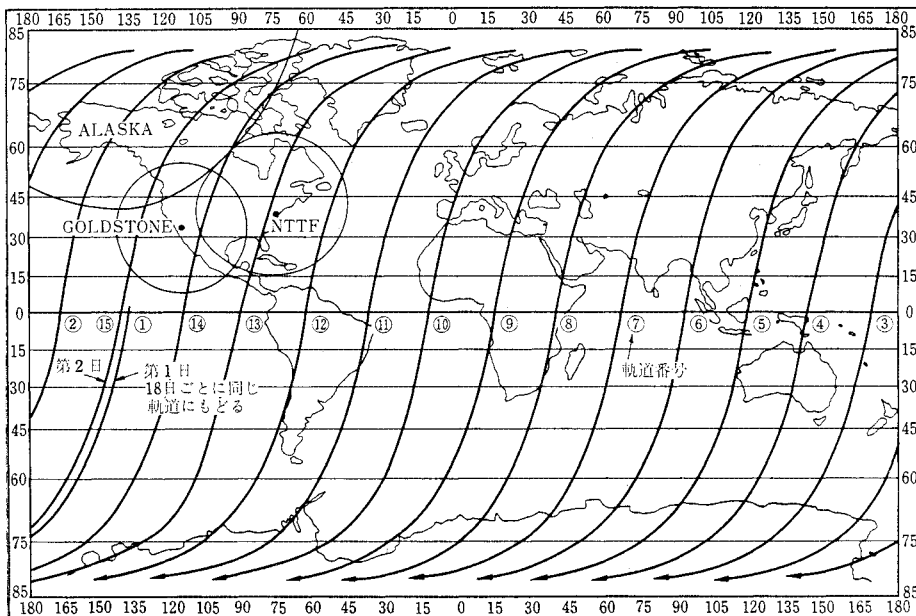


図-2 アーツ衛星の軌道

ERTS-1 の軌道諸元の概要は表-1 のとおりである。

表-1

極をおとす円軌道で軌道半径	7 285.82 km
赤道を横切るときの傾斜	99°
地球を一周するに要する時間	1 時間 43 分 16 秒
赤道を横切る時刻 (現地時間)	9 時 42 分
同じ軌道にもどるまでの日数	18 日
隣合う軌道間隔 (赤道で)	160 km
高 度	900~950 km

ERTS-1 が日本を通過する時刻は 9:30~10:00 の間で、およそ 10 コース (10 日間) で全土が撮影される。1 枚の写真には 185×185 km の面積が含まれる。

### (2) ERTS-1 映像の特長

- ① 1 枚の写真で広域をカバーする。1 枚の写真に、必要とする広い地域の状況が、同時に同じ条件で入ってくるので、現象の大筋を間違いなくとらえることができる。
- ② マルチスペクトルの多次元情報が得られる。地球の環境および資源の物理特性をマルチスペクトル分解することにより、より詳細な情報を収集することができる。
- ③ 周期的に撮影される。18 日ごとに同じ場所が同じ時刻に撮影されるため、環境の時間的な変化を追跡調査することができる。
- ④ 高い精度と高い解像力をもっている。ERTS-1 映像は、超精密処理されているため、それを拡大するだけで 10 万分の 1 の地図に匹敵するほど精度がよい。また、解像力がすぐれ、地上で 70 m ぐらいのものまで判別できる。
- ⑤ 実時間に近い処理が可能である。センシングされ

た情報はただちに地上受信局に送られ、短時間内に映像として再現される。わが国の場合、地上受信局がないため NASA で処理されたものが約2か月後に送られてくるので、きわめて短時間内での実時間処理の効果は期待できないが、少なくとも季節ごとの新しい情報が得られる利点だけでも貴重である。

上述のように、ERTS 映像には多くの特長があり、従来の方法ではまったく知ることのできなかった情報の収集の可能性が期待できるが、さらにアメリカ合衆国では地上に設置した無人の観測装置からの記録を ERTS で集め、一括して処理するシステムも完成した。これによって、火山爆発の予知ができたという報告も出されている (Data Collection System)。

しかし、ここで重要なことは、ERTS 映像がいかに高精度のものであるといえ、これのみでは他のリモートセンシングと同様、十分な効果を期待することは不可能であって、飛行機から撮った写真、地上での観測データ、歴史的な事実などの裏付けが必要であり、これらの資料を総合して、はじめて有効な成果が期待できることなのである。“Ground Truth” の必要な所以である。

### 3. マルチスペクトル写真

図-3 はいくつかの物質の反射特性を示したものである。地球上にあるすべての物質は、それぞれ異なった反射特性をもっていることがわかる。われわれが日常観察している自然では  $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$  のいわゆる可視光域だけの反射光を認識しているにすぎない。しかし実際はさらに広い波長域の電磁波が、物質ごとに異なった割合で反射されている。普通、われわれの撮っているパングロ

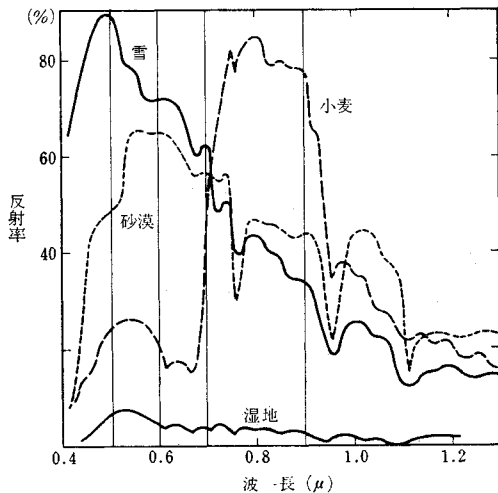


図-3(a) 各種物質の反射率

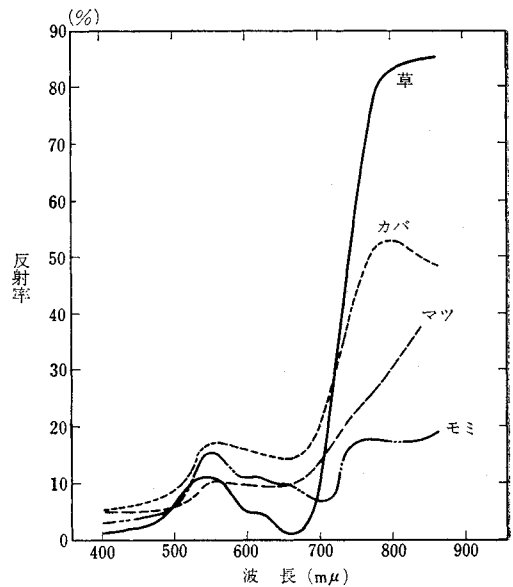


図-3(b) 植物の種類による反射率の変化

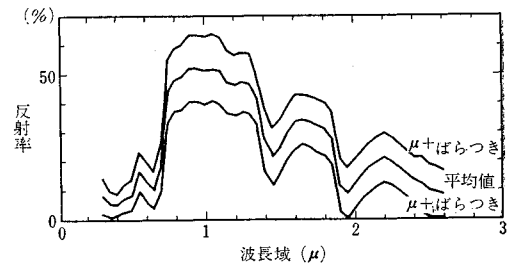


図-4 緑の植物からの反射率

写真の白黒の色調差は、可視光域全体の反射エネルギーの積分値の記録である。これを波長別に分けて記録し、それぞれの反射特性を知ろうとするのがマルチスペクトル写真である。これによって、いっそう精度よく写真像を解析し物質を区別し、認識することが可能になる。

図-4 は緑の植物からの反射率を、非常に多くの測定値から求めた結果である。中央の線は平均値で、上下の線はばらつきを示している。可視光域で緑のバンドが高い反射率を示しているのは当然であるが、さらに赤外域になるといっそう反射率が高くなっている (Chlorophyll Effect)。波長が  $1.4\mu\text{m}$  および  $1.9\mu\text{m}$  で反射率の著しい低下が見られる。これは、この波長域は水による吸収の著しいことを示している。なんらかの原因で植物の含水率が低下すると、図-5 のように、この部分での反射率の低下が見られなくなる。したがって、とくにこの部分の反射率を調べれば、植物の“みずみずしさ”がわかり、植物の活力の早期診断が可能となろう。土壌の含水率の調査も同じ方法で可能である。

図-6 は各波長の水による吸収率を示している。青か

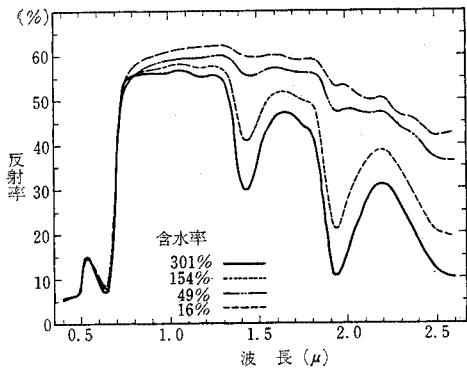


図-5 含水率の低下による反射率の変化

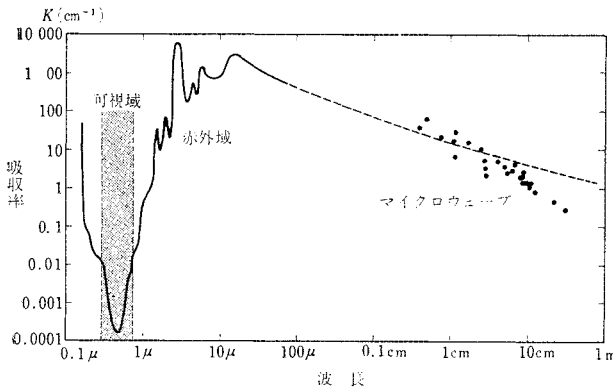


図-6 電磁波の水による吸収率

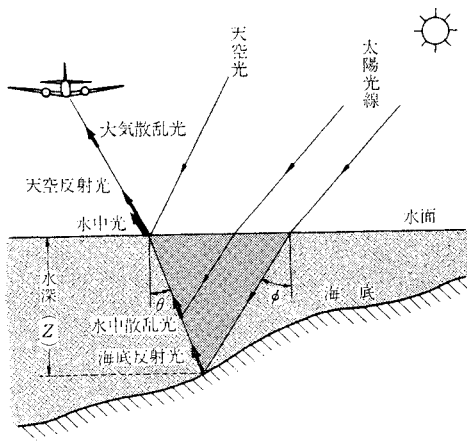


図-7 水面からの反射

ら緑の部分是最も吸収率が小さいことがわかる。水から反射してくる光は、図-7 に示すように、表面からの反射のほか、水中にある物質からの散光と海底からの反射光が含まれる。水面で明るい色調を示しているところは、浮游物で濁っているか、浅い部分であると考えてよい。

青緑バンドの写真は、このように水に関連した調査に

は非常に有効である。

波長が  $10\sim 12\mu\text{m}$  になると、赤外線でもとくに熱線バンドと呼ばれ、熱分布のパターンが写し出される。これは、微少な熱分布を手掛りにして地上の現象や物質を探索するのにきわめて有効であることがわかっている。

以上は、マルチスペクトル写真の効果の概要である。

ERTS-1には Multi Spectral Scanner (MSS) が装置され  $0.5\sim 0.6, 0.6\sim 0.7, 0.7\sim 0.8, 0.8\sim 1.1(\mu\text{m})$  の4バンドの写真が撮られている(口絵写真参照)。1976年に予定されているERTS-2には、これに熱線バンドが加えられることになっている。

#### 4. アーツ写真の解析

日本に送られてきた写真は、それぞれの協同研究者の手もとで、その解析が行なわれている。その成果の一つは、口絵に示した関東平野の断層線存在の可能性についての予言である。報告によると<sup>a)</sup>、この線上には、① 幅広い樹林地帯、とくに水分を必要とする竹やぶが多くなっている、② 利根川、江戸川、荒川など関東地方の大きい河川が、この線にぶつかる付近で一様に流路を変えている、③ 地磁気探査の結果と比較すると、その線を境にして、南と北に低磁気異常と高磁気異常に分れている、④ 重力についてもこの線を境に低重力部と高重力部に分かれ、地殻上の違いが示唆される、⑤ この地方の過去の大地震のうち安政2年の江戸地震、明治28年の利根川下流の地震、大正12年の竜ヶ崎付近の地震など、マグニチュードこそ7前後の中規模だが、都市部直下で震源地が浅いため大被害を出した地震の震源地がこの線上にある。これらの裏付け事実を加えて構造線の存在の可能性を提起し、関係各学会へ精密な検討を要請した。

写真-1は新潟海岸のバンドの写真である。記録によると、信濃川に河川改修工事などの人工的干渉が加えられた約80年以前においては、洪水時および融雪時に信濃川が供給する土砂のために、新潟海岸は年平均20~120mの割合で沖方向に前進しながら変動の激しい砂浜海岸を形成してきた。写真-1は、信濃川河道の変遷の歴史を示している。

その後、明治35年に新潟港建設のために突堤が完成し、大正11年大河津分水が完成し、そのときから突堤の東海岸と西海岸にそれぞれ性質の異なる海岸浸食が始まり、最大360mもの汀線の後退がみられた。この原因として、上述の工事によって海岸への土砂の供給が激減したことがあげられている。

a) 朝日新聞、昭和48年5月23日の紙上より抜粋。

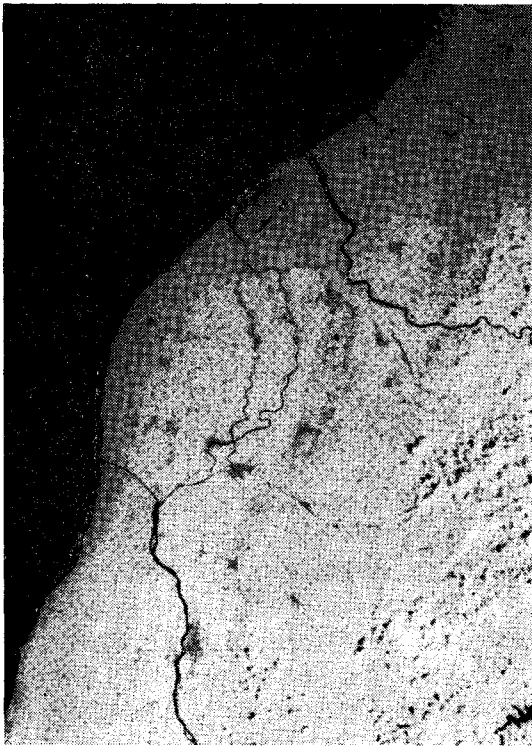


写真-1 新潟海岸の赤外線バンド写真

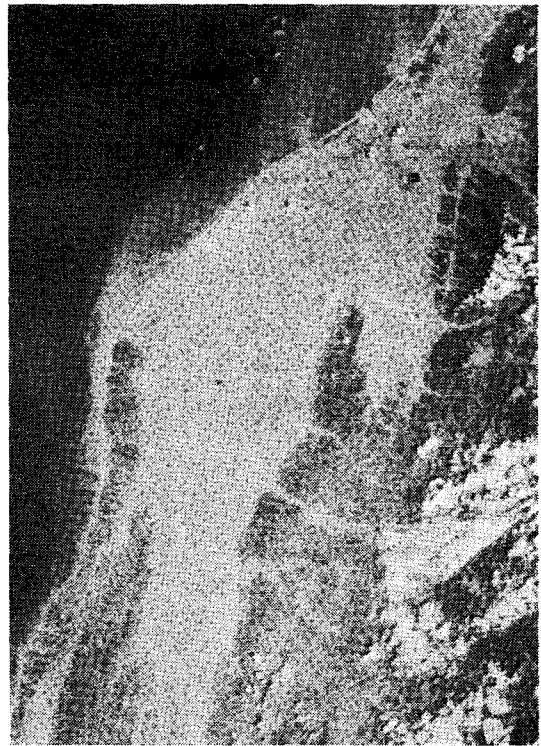


写真-2(a) 新潟海岸の緑バンド写真

写真-2(a) は緑のバンドでとらえた各河川からの土砂流の拡散の状況を示している。大河津からの土砂は角田岬がデフレクターとなり対馬海流によって沖のほうに遠く拡散し、突堤は導流堤となって信濃本流の土砂を遠く沖合に運んでいる。これらにより、新潟付近の海岸にはほとんど運ばれていないことがよくわかる。これらの事実は、ささやかな人間の行い自然への干渉が環境の微妙なバランスを失う原因となり、自然破壊につながるかを示すものといってよい。このような例はかなり多い。

最近、日本の海岸の浸食は激しくなっており——従来海岸浸食といえば、日本海側が有名であったが——最近では太平洋のほうが浸食がひどい<sup>り</sup>といわれている。これに対処する方法を見出すことは、きわめてむづかしいことではあるが、少なくとも海流、沿岸流などを含めた海象の究明が重要であることはいうまでもない。しかもこれらは従来正確な現象を把握することが困難なものであっただけに、マルチスペクトル写真、とくに衛星写真の効用を見出すことはできないと思われる。

3月29日から約10日間、ERTS-1シンポジウムがワシントンの近くのGoddardで開かれた。これには、上述のほかに、大阪湾の汚染、航空気象上きわめて重要な晴天乱流(Clear Air Turbulence)の存在を確認する絹雲の発見、赤潮発生の確認などが報告された。



写真-2(b) 旧信濃川河口から流出する土砂流況

アーツ写真による情報の解析は、多くの分野でそれぞれの研究者によって進められているが、これらについての詳細は稿を改めて紹介するつもりである。いずれにしても、新しい手法による地球の探査は、土木計画を進めるうえで多くの示唆を与えるであろうし、また、積極的にその利用をはかり、貴重な土地資源の有効管理に資することを考えなければならない。

## 5. 国連でも話題に

国連には宇宙の平和利用に関する委員会がある。その

b) 毎日新聞、昭和48年5月2日夕刊、浸食進む太平洋岸より抜粋。

下部組織の科学小委員会であーツに関する問題を取り上げワーキンググループが組織された。昭和48年1月29日から2週間にわたって、アーツ資料の今後の取扱いについて、きわめて真剣な討論が行なわれた。

この時点では、すでにアーツ資料が、どのぐらい精密な情報を提供することができるかがわかっていたから、一部の国からは“わが家の風呂場をのぞかれるようなもの”という表現がなされ、このような資料の国際的な管理を考えなければならない、ということがその中心となった。

討論の結果は報告書にまとめられ、委員会に報告されたが、その中でアーツ資料の最も重要な利用の道の一つは開発途上国でまだ地図のできていない地域、地図はあっても完全なものでない地域の地図づくりへの貢献にあると強調していた。それほど位置精度は高く、解像度のすぐれた映像なのである。聞くところによると、メコン河流域の地図づくりをNASAが引き受けたともいう。

## 6. 地球の定期検診の必要性

テクノロジーを開発した人類は、現在、危機にたたさされている。人口、エネルギーや新資源の消費、都市化、

これらの結果としての汚染や公害などが急激に増大し、人類の生存しているこの地球の自然体系そのものが、人類を危険な方向へ追いやりようとしている。

このような事態に対処するには、われわれはどのような手段をとることが必要だろうか。それには、まず地球についてもっと知ることである。地球の自然システムをもっと理解し、人間活動がいかに密接な相互関係にあるかを知ることである。

われわれは地球について無知のことが多い。しかし、自然のシステムと、その構成要素には許容しうる限界のあることは知っている。この限界の中で、できるだけ早い機会に危険の兆候を察知し、必要に応じて軌道修正を加えることを、さらに強く認識していることが必要である。

アーツ衛星のデータは、この意味できわめて重要な役割を果たすことが期待できる。アーツ衛星は、ある場合には早期診断のデータを提供し、またある場合には定期検診の役割をも果たすであろう。そのデータをいかに有効に利用し、価値あるものにするかは、技術者の能力にかかる問題であり、人類に対する責任でもあると思われる。

(1973.4.30・受付)

ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針	900 円 会員特価 800 円 (〒 90)
市街地土木工事の仮設と安全対策	2 200 円 会員特価 2 000 円 (〒 170)
土木技術者のための振動便覧	2 800 円 会員特価 2 500 円 (〒 170)
土木技術者のための測定法	2 000 円 会員特価 1 800 円 (〒 170)
地震応答解析と実例	5 000 円 会員特価 4 500 円 (〒 200)

建設省よりの委託研究成果を特別に公表

## 下水汚泥の処理・処分および利用に関する研究

新刊●昭和46年度報告書 B5・322頁 実費 2 000 円 (〒 170 円)

1. 緒論
2. 下水汚泥の農業利用に関する調査
3. 下水汚泥の海洋処分に関する調査
4. 下水汚泥の脱水等に関する調査
5. 結論

既刊●昭和43年度報告書 B5・232ページ 1 200 円 (〒 140 円) 4冊合計

既刊●昭和44年度報告書 B5・160ページ 1 300 円 (〒 140 円) 6 0 0 0 円

既刊●昭和45年度報告書 B5・200ページ 1 500 円 (〒 140 円) (〒 230 円)