遠隔探知方式について—論評

松 野 久 也*

On the Remote Sensing System—A Review

by Kyûya Matsuno*

はじめに ごく最近(1966年9月20日), アメリカ合衆国内務長官 Stewart L. Udall 氏は, 衛星による地球表面の反覆観察計画を公表した。この計画は“EROS (Earth Resources Observation Satellites)”計画と呼ばれ, 航空宇宙局 (NASA) とその他の政府機関との協同のもとに推進されることになっている。Stewart L. Udall 氏は, 1966 年, Photogrammetric Engineering 誌の第31巻, 第1号に“Resources Understanding—A Challenge to Aerial Methods”と題する論説を発表し, 宇宙からの探査法を含めた広い意味の空中探査法の現状ならびに将来の発展について論評し, これに対する一般の関心を呼び, かつ科学技術者に対して, その装置ならびに方法の開発, 改良に対して, 激励を与えていることは, すでに本誌第5巻, 第2号の文献紹介の欄で, 紹介した通りである。

現在のところ, EROS衛星の打上げ時期については明らかにされていないが, 最初の衛星には, 少なくとも2台のテレビカメラが搭載され, そのうちの1台は, 海陸および植物の分布に関して最大の情報が得られ, 他の1台は水の対して最大の透過を得るような波長域で動作することが期待されている。

この計画の調整官として, わが国においてもよく知られているアメリカ合衆国地質調査所の William A. Fischer 博士が加わっているのである。

EROS計画とは, どんな目的をもつものであるか? また, どんな遠隔感応装置が搭載されるのであろうか? これら両点は, とくに空中写真と言う現在もっとも広く用いられている遠隔探知方式を利用し, あるいはこれを通して, 地球に関する科学・工学および資源の探査に従事している私たちにとって, 極めて興味深い問題である。

ごく最近(1967年3月10日), アメリカ合衆国地質調査所長 William T. Pecora 博士は, 米国測量・作図

会議(American Congress on Surveying and Mapping)の第27回年次大会において, “Surveying the Earth's Resources from Space”と題する講演を行ない, 人工衛星からの調査とこの方法の利点ならびに予想される遠隔探知方式の応用について, 概説している。この種の内容の講演が, 他の会合においても, 行なわれており, アメリカ合州国政府機関とくに地質調査所が, EROS計画に如何に力を注いでいるかがうかがわれる。

Pecora博士は, その講演の冒頭に概略次のような趣旨のことを述べている。すなわち「資源に対する需要の著しい増大に対し, われわれは資源探査を促進する手段を見出さなければならぬ。これに対して空中写真と空中物理探査技術が, 世界中で資源に関する知識を獲得する速度を非常に増大させ, この点大きく貢献している。しかしながら, われわれが直面している問題は非常に大きく, 既存の機器および技術をさらに広く利用しても, 追いつかない位である。幸いにも, 今や航空機および地球軌道上の人工衛星に搭載した遠隔探知装置を利用することによって, その間の開きのある程度を埋めることができるのである。」

ここで大きな期待がかけられているのは, 遠隔探知装置と人工衛星である。

■ 遠隔探知に関する世界の歩み

遠隔探知装置とは, 航空機あるいは人工衛星上から, 地球上のいろいろなデータを得るために用いられる装置であって, 既に述べた通り空中写真は, 現在もっとも広く用いられている方式の一つである。空中写真には, パンクロ写真, 赤外線写真, カラー写真, 赤外・カラー写真, さらに最近では, レンズを9個備え, 一度にいろいろな波長域の写真を撮影する多波長帯域写真 (multi-spectral photography) などが用いられている。これは可視域の波長帯域および近赤外域の波長およびその一部を使用するものであるが, 最近では, とくにアメリカ合衆国において中間赤外線の波長域を利用した赤外放射温度測定あるいは赤外線映像装置に

* 通商産業省地質調査所
Geological Survey of Japan

よる被写体の表面の温度分布の観察が行なわれており、さらに長い波長のレーダー波を利用するレーダー写真が実用段階に来ている。さらに、マイクロ波、オーディオ(可聴)波、ラジオ波、紫外線などの領域の探知装置に対する研究も行なわれている。

以上のほか、磁気探査、放射能探査などの地球物理学的方法のなかで空中方式に応用できるものも、これら遠隔探知方式に含められるものである。

ここでは普通一般に言われる空中物理探査法は別として、第二次大戦から以後、とくに最近数年間に、新しく改良された探知装置の発達は著しく、このような傾向は今後も続くことは疑いのないところであろう。これに対して、これら探知装置の地球科学の分野への応用は、遺憾ながら非常にテンポが遅いのである。このような観点から、米国において1961年1月、National Academy of Science, National Research Councilおよび Office of Naval Research Geographyの代表からなる委員会において、地球科学の分野におけるもっと進歩した効率のよいデータ獲得法と解釈に関する技術の推進が必要ながことが討議され、環境の遠隔探知法に関する強力な研究が勧告されたのである。そして、その12月、この勧告に沿った小委員会が生まれ、活動を開始している。

そして1962年の2月に、第1回の環境の遠隔探知に関するシンポジウムが開催され、同年10月に第2回、1964年10月に第3回のシンポジウムが開かれている。第3回のシンポジウムには、ざっと90以上の報告が提出され、これらのうち、ざっと55は、現在さらに将来において予想される研究計画を論じており、これらのうち多くの報告は、遊星の研究、地球の探査、天文学および海洋学などの分野における人工衛星の使用を考えているものであった。その他、新しい装置および遠隔探知装置によって得られたデータの解釈に関する報告が数多くみられ、その範囲は多帯域写真、赤外線映像およびレーダー写真などにわたっている。この第3回遠隔探知シンポジウムに提出された話題は、アメリカ写真測量学会の会員にとっても非常に重要な問題を含んでおり、ミシガン大学の Joseph O. Morgan および Virginia L. Prentice 両氏が招待せられている。このシンポジウムの内容については、彼らが詳しく論評していることについては、既に本紙第5巻、第3号で紹介された通りである。

一方、1964年、リスボンにおける国際写真測量学会第8回年次大会において、遠隔探知技術として、赤外線映像およびレーダー写真が水理学上の目的に有効なことが、米国の科学者によって紹介せられ、これらが“映像記録技術”として次の1968年のロザンヌにおける大会までの主要な追究主題の1つとしてとりあげら

れるよう決議された。そして、1968年のロザンヌ大会では、この主題の報告者として、前述の William A. Fischer 博士が選出され、“Collection of Information for Photointerpretation, Obtained from Any Airborne Vehicles”と題する報告が提出され、これを中心に討論が進められる予定となっている。

こうして、可視域を越えた波長域を利用する遠隔探知方式が国際的に——ソ連の状況は不明であるが——正式に取上げられるようになったのであるが、この分野の指導的地位にある米国では、これら遠隔探知方式を人工衛星に応用する計画が進められるところまで来ており、その進歩の非常に早いことに驚かされるのである。

わが国では、地質調査所がすでに1961年頃から、赤外線映像が地球科学の分野に応用して大きな効果が期待できることに注目し、1954年頃から赤外線応用装置の研究・開発を行なって来た日本電気株式会社の技術陣と1964年以来連けいを取りつつ、空中から地表面を走査するパッシブ赤外線映像装置を開発し、これを地球科学に役立たせようとしている。そして、1966年、最初の空中用パッシブ赤外線撮像装置を試作している。また、海上保安庁では、赤外線放射温度計を海況調査に応用している。

■ 遠隔探知方式の応用とその現状

ここ数年、とくに第3回環境遠隔探知シンポジウム以来、遠隔探知装置ならびにその応用に関する報告が非常に多い。そして、その地球科学・環境科学ならびに工学、さらに他の多くの分野に応用して大きな偉力を示すことが次々と実証されつつある。まえにも述べた通り、この分野で指導的地位にあるのは、アメリカ合衆国であって、種々の装置およびその進歩の見透、応用範囲さらに予想される応用について内務長官をはじめ、多くの主要な地位にある人も論評を加え、一段の進歩を推進しているように見受けられる。

これらの研究には、軍は勿論のこと、種々の政府機関、大学、民間会社など非常に広範囲にわたるものが従事している。これらの成果についてすべてを集録論評を加えることはとくも不可能なことであるので、前述の Pecora 博士の講演、ならびに7月末アメリカ合衆国地質調査所の Fischer 博士より贈られた最新の資料を中心にして、現状を見渡してみることにする。

アメリカ合衆国地質調査所では、ここ2年間、航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration)との協力のもとに、普通の航空機上から得られる遠隔装置のデータの利用の可能性と実用性とを研究して来た。この研究の究極の目的は、ずっとこみ入った遠隔探知装置を積込んだ人工衛星から、地球上の

天然資源に関するデータを得る技術の開発にあるが、これらの実験の結果は、遠隔探知装置によって天然資源を調査し評価することができることを如実に示している。

ここで、従来の研究および種々の実験結果から、従来の空中物理探査法を除いて、現段階で有効な遠隔探知方式と考えられるものは、各種空中写真は勿論として、多波長帯域写真、赤外線放射測定、赤外線映像、レーダー写真（あるいは映像）、紫外線映像 などである。

遠隔探知方式のもっとも進みかつもっとも広範囲に利用されているパングロ写真、赤外線写真、カラー写真、赤外カラー写真は空中写真による方式については、会員諸兄姉のよく知っておられるところであって、ここに説明の必要はないであろう。ただし、この写真の中で、最近新しい方式として目につくのは多波長帯域カメラの使用である。これは、9個のレンズをもったカメラを使用するものであって、目的によってフィルムとフィルターの特殊な組合せによって、同時に同一被写体について、いろいろな波長帯域の映像を得ようとするものである。この方式によって得られるデータは非常に多量なものが期待されるが、その評価について、今のところ報告されたものは少い。

現段階で、もっとも進み、多くの実験ならびに実際に応用されつつあるのは、赤外線放射測定および赤外線映像である。すべての物体は、0.72 ミクロンから1,000 ミクロンの波長帯域の赤外線を放射している。ある物体の赤外線放射エネルギーは、その絶対温度の4乗に比例しかつその放射率に比例する。したがって、地物の赤外線放射エネルギーと放射率がわかれば、その地物の温度を決定できる。

最近、携帯用の赤外線放射温度計の開発に伴って、航空機上から航空機の航跡に沿って、連続的に地表あるいは水面の温度を連続的に測定し、地表あるいは水面の温度分布の作図が可能となり、各方面で実用に供されている。すなわち、メキシコ湾流の空中からの温度測定、Dayton 大学によるカリフォルニアの山地中の湖水の水面温度、アメリカ合衆国の Bureau of Sport Fisheries and Wildlife の Tibuiron Marine Laboratory によるロスアンゼルス近海の水温測定（1°C間隔の等温線による温度分布図の作図）など枚挙にいとまない程である。わが国でも、海上保安庁が1965年赤外放射温度計を試作し、沖合海況および海流の調査を実施している。また本年、7月31日、朝日新聞が赤外線放射温度計による東京の市街地および富士山の空中からの温度測定について報じたことについて、読者の中に御承知の方々も少くないものと考えられ

る。

赤外線放射温度計による温度測定は、点あるいは測線に沿った測定に限られる。この赤外線放射温度計の瞬間視野を小さくしぼり、スポットで物体の表面を走査し、放射エネルギー強度を映像装置が開発されている。この装置によって得られた映像のトーンの変化は、温度の変化に対応する。この方式は地表面あるいは水面の温度分布のマッピングに非常に大きな効果を發揮する。

1963年2月から3月にかけてアメリカ合衆国地質調査所によって実施されたハワイのキラウエア火山の赤外線調査は、火山活動に関連する目にみえない地温異常のマッピングのほか、海岸線付近における海底湧泉の探知と言う付録までついて、非常な効果をおさめ、この方式の偉力を多くの人々に認識させたのである。この調査の結果は活火山周辺の地温分布の変化を観測することによって、爆発予知の警報を出すための一つの手がかりが得られるものと考えられ、反覆観測の必要なことが痛感される。

一方、この方式は地熱開発のための調査にも有効なことが考えられ、Yellow Stone Parkの有名な間けつ泉周辺その他で、実験が行なわれた。アイスランドの Surtsey 火山地域の調査では、従来知られていた地温異常は勿論のこと、今まで知られていなかった同様な異常をマッピングすることができた。ここで非常に興味あることは、ある場合には普通の空中写真の方が非常にこの種の調査に有効なことである。すなわち、積雪時の空中写真上に、地温異常のあるところは、雪がとける結果、暗いトーンで記録されることである。この事実は、我が国の地質調査所が1965年那須火山の殺生石で、地温分布の観測を始めて実施した際、実験に先立って俄雪があつて、その融雪のパターンから予め、地温異常をカラー写真に記録することができ、赤外線映像の結果をチェックすることができたのと全く同じである。

実際の例は未だ報告されていないが、ある型の鉱床探査への応用が考えられている。すなわち、鉱物が酸化する場合、かなりの反応熱を出すことである。例えば、アラスカにおける銅の硫化鉱床であつて、その酸化の際の反応熱によって、それをカバーする永久凍土がとがされている場合である。

赤外線映像は、とくに水面が一様な散乱面と考えられることから、水理工学上多くの問題の解決に非常に大きな効果があることが実証されており、また期待される。ハワイは火山島であるため、かなりの降雨量があるにもかかわらず、水が地下に滲透し、全く河川がなく、水は貴重品である。前述の通り、海水温度と地

下水の温度差から、海岸における海底湧泉の位置とそれが海水中に分散して行くパターンが、前述のアメリカ合衆国地質調査所の赤外線調査から探知され、穿井位置の決定に重要な資料を与えている。

もう一つの問題は、塩水楔の河川水中への侵入である。普通、この調査は、水のサンプルをとり、塩化物の量を測定し、これを地図上にプロットし、等値線を描き塩水楔の形、大きさ、位置を決定するのである。赤外線映像装置を用いれば、海水と河川水の温度差から、目に見える形で塩水楔の形、大きさ、位置を容易に決定できる。アメリカ合衆国地質調査所は、マサチューセッツ州と協同のもとに、Merimac川の河口付近の塩水と河川水とのぶつかり合う所のマッピングを行っている*。この調査は時間毎の変化を知るために反覆撮像が行なわれている。このデータは、市の水道の供給に重要な資料を提供し、内湾の漁業にも貢献するものであり、合衆国では、この種の調査を、東海岸について広く行なおうとしているのである。

非常に特殊な応用であるが、炭鉱の坑内火災に由来する災害の原因調査である。合衆国鉱山局の要請に基いて、同地質調査所は、ペンシルヴァニア州のScrantonの炭鉱地域の空中赤外線調査を実施した。ここでは、坑内火災によって、有毒ガスが発生し、これが上盤の岩石中の割目を通して住宅地域に湧き出し、数人の死者を出したのである。この調査によって、坑内火災の位置に直接関係のある地温異常地をマッピングすることができたのである。

アクティブマイクロウェーブ方式すなわちレーダーあるいはパッシブマイクロウェーブ方式によって、地表の地物のマイクロウェーブの反射あるいは放射の性質をマッピングできる。サイドルッキング空中レーダー映像は、昼夜晴雨にかかわらず、広大な地域のカバーできるすぐれた装置である。この装置によって、いくつかの岩石の型を区分することができ、構造の特徴をマッピングすることができる。とくに地形および地形にあらわれた構造の特徴が、強調されて表現され、小縮尺の平面図のマッピングに有効である**。水面は、マイクロウェーブに対しよい反射面となるため、映像上一様な暗いトーンとして表現されるため、陸域と水域の区分以外、水の物理的、化学的あるいは生物学的性質の探査には役に立ちそうもない。

紫外線映像は、現在、アメリカ合衆国地質調査所および航空宇宙局によって、その研究が推進され、空中から実際に映像を得るところまで来ている。装置の走査機構は、赤外線映像装置と全く同じである。3,000 Å

以下の短い波長の映像では、ある種の岩石が可視域の写真より、コントラストが強くあらわれることがはっきりしている。しかしこの分野は、まだまだ研究を要する段階にある。

■ 宇宙からの遠隔探知方式

第3回環境遠隔探知シンポジウムに提出された報告中には、人工衛星の使用を考えているものもかなり含まれており、また、最近では、地球資源観察衛星計画(EROS Program)が進められつつある段階に来ていることは既に述べた通りである。

人工衛星あるいは宇宙船からの観察のもっともすぐれた点は

- 1) 非常に広い範囲を一度に観察できること。
- 2) 世界中をカバーできること。
- 3) 非常に早い速度であること。
- 4) 反覆観察が可能なこと。
- 5) 一定の大陽角度で照明された映像を得ることができること。

などがあげられる。

高度150マイルから120インチの焦点距離のカメラを使用すれば、1ミリメートル当り100線の解像力をもつ写真上で、地上の解像力は2.4フィートであると言われる。この点は一応除外しても、非常に広い範囲を一枚の写真におさめることができるため、一つの造山帯あるいは堆積盆の全体を一度に観察することができ、傾きの大きな斜写真あるいは極軌道上を飛翔する衛星を利用すれば、世界全体をカバーすることができるのである。このような世界全体をカバーする速度も非常に早い。すなわち、極軌道上300マイルの高度で飛翔する衛星を利用すれば、僅か4.5日で全地球表面をカバーすることができ、数ヶ月あるいは1年におよぶ寿命をもつ衛星を打上げることができれば、4.5日の時間間隔で地表の特徴の変化を観察できる。さらに、一定の大陽角度で非常に広い範囲を瞬間的に記録するため、普通写真から作成されたモザイク写真のように、写真毎のトーンの変化の調整の必要がないことが非常に優れている。

このような人工衛星から、どのような遠隔探知が実施でき、どのようなデータが得られるのであろうか、以下2~3の例に触れてみよう。

人工衛星からの写真が、現に沢山撮影され、これらがカプセルとともに回収され、あるいは、テレビ像として送られて、新聞紙上あるいはいろいろな出版物に公表されている。これらの写真の利用法として、まず最初にあげられるのが、地図作成である。地図は、いうまでもなく、地質調査、資源探査、海洋調査、水資源調査、土地利用調査、都市計画、道路計画その他、

* この時の映像および他の1例が筆名のもと贈られて来ている。

** San Francisco 付近の San Andreas 断層を中心とする区域のレーダー映像が筆者の手許にとどいている。

数えきれない程多くの調査計画にとって必須のものである。ところが、現在のところ、極地方やヒマラヤ山脈のような山地など、世界の僻地の大部分については、使用に耐える地図がないのである。したがって、世界中の陸地について、情報を得るための地図作成計画にもっとも重点がおかれることは疑いのないところであろう。この点、Gemini VII 号衛星から撮影されたフロリダのケープケネディ付近の写真上では、1:250,000の縮尺の地形図に盛りこまれた程度の地表の細部が読みとれることが、この計画の可能性を示している。また人工衛星から得られた写真は、非常に大きな範囲をカバーしており、しかもこれが瞬間的な記録であって、普通の航空写真をもってしても到達到達できないような厳密な同時性を示している。また、前述のように非常に早い速度で、反覆撮影ができるため、環境の条件、地表の特徴、資源、人口、いろいろな自然現象および人間の活動などの位置、配列、組合せなどの変化が判読できるのである。したがって、アメリカ合衆国地質調査所は、このような利点を重視し、宇宙写真から1968年に国土地図帳を出版しようと計画し、目下編集集中である。また、Association of American Geographerとの協力のものと、タイムリーな国土の土地利用図を作成しようと言う計画も進行中である。この分野に利用される写真は、単に宇宙写真と呼ばれるばかりでなく、とくに宇宙・時間写真(space and time photography)と呼ばれ、これらを利用する写真測量を同じく宇宙・時間写真測量(space and time photogrammetry)と呼ばれるのである。この方式のもっとも優れた利点の一つは、非常に広大な地域のデータを小縮尺に圧縮して表現することができるのであって、広い地域の予察的データを把握するのに、その迅速性ばかりでなく経済性も、極めて高いのである。

地球表面の約70%が海洋であるが、この大部分は、従来の方法で現地調査することは実際には不可能である。たとえば、航空機でその上空を飛ぶことができ、いろいろな情報を得ることができたとしても、その位置付けと言う点で著しい困難がある。この点、宇宙船あるいは人工衛星からの調査が、偉力を発揮することは疑いのないところである。現在、Nimbus 衛星からのメキシコ湾流の赤外線映像が、海面温度の差の観察と、流れのパターンに関連する温度分布の観察の可能なことを明らかにしている。この事実は、海流のパターンおよびその時間的変化をはじめ、いろいろな海況調査に重要な貢献をなすであろう。

以上、簡単に、人工衛星を利用した遠隔探知について紹介したが、Pecora博士も言っているように、これらの利点は、写真判読の価値を高め、そして、非常に高い精度で記録された普通の空中写真のデータの位置

付けおよび対比を容易にするものである。しかし、多くの場合、宇宙からのデータはあくまでも補助的なものであって、普通の空中写真にとって代るものではない。

むすび 1967年7月24日、EROS計画の調整官であるWilliam A. Fischer博士より、William T. Pecora合衆国地質調査所長の最近の2つの講演のテキストと共に、赤外線映像をはじめ、種々の遠隔探知方式を論じた論文を多数贈られた。これらはごく最近発表されたばかりのもので、7月18日にワシントンで投函されたものである。

これらに目を通して見て、現在のアメリカ合衆国における遠隔探知方式の進歩と応用についての大略を知ることができる。わが国では、やっと空中赤外線映像あるいは赤外線放射温度計による遠隔探知が2~3の機関によって取組まれはじめたばかりであるが、すでに気象庁では、気象衛星からのデータを受信して、これを天気予報に利用しており、日本放送協会によって通信衛星を利用した国際的なテレビ中継が行なわれている。また、地球資源観測衛星が、ごく近い将来に打上げられ、これからのデータの利用も可能なことが予想できないとは言えない。さらに、このような衛星をわが国自身の手で打上げられることも期待できないわけではない。

ここ数年の間に、写真判読の範囲が可視域から長い波長の側に広げられ、また、短い波長の方にも広げられつつある。さらに、人工衛星から、従来の航空機による方式に比べて、比べものにならない位の高い視野からのデータ蒐蒐が実現している。そのためには、種々の遠隔探知方式が開発されつつあり、そのうちのあるものは、既に実用に供して大きな働きをしている。その一つ一つには、それぞれ特徴がある。したがって、より多くの方式を併せ用いて、より多くのデータが得られるのである。

これらに関して、アメリカ合衆国地質調査所長Pecora博士の講演を軸にして、遠隔探知方式の現状について比較的平易に概説を試みた次第である。

すでに述べた通り、最新の資料を、早急にお届け下さったFischer博士の御厚意に報いるために、とりあえずその要点でも会員諸兄姉にお知らせするのが最良の方法と考え、筆をとった次第である。時日が切迫しているため、充分意を尽せなかったところあるいは語謬もあると思われるが、この点御容赦の程お願いする次第である。

文 献

Fischer, W.A.: Geologic Applications of Remote

Sensors. (Manuscript).

Fischer, W.A., Davis, D.A. & Sausa, T.M.: Fresh Water Springs of Hawaii from Infrared Images. Hydrographic Investigations Atlas HA-218, U.S. Geological Survey, 1966.

Hemphill, W.A., Fischer, W.A. & Dornbach, J.E.: Ultraviolet Investigations for Lunar Missions. Advances in the Astronautical Sciences, Vol. 20.

Pecora, W.T.: Surveying the Earth's Resources from Space. 27th Annual Meeting of the American Congress on Surveying and Mapping, Washington D.C., March

10, 1967.

Pecora, W.T.: Mineral and Land Resources.

(講演テキスト)

Rovinove, C.H.: Remote-Sensing Potential in Basic-Data Acquisition. International Conference on Water for Peace, Washington D.C., May 23-31, 1967.

United States Department of Interior: Remarks of Under Secretary of Interior Charles F. Luce at the Annual Meeting of the American Astronautical Society, Statler Hilton Hotel, Dallas, Texas, May 1, 1967.

■ 海上保安庁 水路要報

新潟海岸のいそ波 佐藤奎吾 昭和26年25号

対景図と水路部式撮影機 佐藤富士達 昭和28年38号

深海潜水機による海底写真(東海号による第1回実験報告) 佐藤富士達 昭和29年45号

航空機からの斜写真による地形の略測法 山崎真義 昭和29年40号

潮流の空中写真測量法について 杉浦邦朗, 福島資介 昭和39年76号

解析空中三角測量による測深基準点の展開(水路測量における写真測量の利用 [1]) 杉浦邦朗, 岩崎博, 束原和雄 昭和39年78号

渡海架空線の安全可航高の測定について(水路測量における写真測量の利用 [2]) 小野弘平, 杉浦邦朗 昭和40年79号

■ 海上保安庁 水路部研究報告

水路測量における解析空中三角測量について(水路測量における写真測量の利用 [4]) 杉浦邦朗, 束原和雄, 小沢幸雄 昭和41年 2号

Photogrammetric Investigation on the Upheaval of Water Surface in the strait, Hayatomo Sato (Application of Photogrammetry to Hydrography 3) Kohei Ono, Toshio Kato and Kuniro Sugiura Report of Hydrographic Researches No. 1, May, 1966.

Hydrographic Review International Hydrographic Bureau Monaco

Reconnaissance Mapping from Aerial Photographs in unexplored country H.E. Saundess & G.D. Blodgett. May 1956. Vol. XXXIII.

Photogrammetric Surveys for Nautical Charts B.G. Jones November 1955, Vol. XXXII.

Use of Aerial photographs for Revision of Information on Nautical Charts H.R. Brooks November 1955, Vol. XXXII.

Low-water photography in Cobscook Bay. Maine B.G. Jones May 1958, Vol. XXXV.

Aerotriangulation Adjustment G.C. Tewinkel May 1958, Vol. XXXV.