

米国ジオサット・ワークショップに参加して

佐藤 功 (物理探査部)

Isao SATO

はじめに

筆者は昨年11月に (財)資源観測解析センターの依頼により 米国で開催された第5回ジオサット・ワークショップへ出席するとともに 米国地質調査所 (デンバー支所) ジオスペクトラ社 ジيوفジカル・エンパイロメンタル・リサーチ社を訪問する機会を得た。

筆者がリモートセンシング分野の関連研究に従事するようになったのは 昭和56年からである。画像処理解析システムのソフトウェア開発が最初の業務であった。現在は主に昭和59年度から開始された工業技術院大型プロジェクト「資源探査用観測システム」の一環として地質調査所が実施している「地質リモートセンシングシステムの研究」に従事している。この研究では 岩石や土壌の分光特性の測定とこれらの分光特性データを利用した各種のシミュレーション技術による地質用センサーの評価に関する研究を進めている。このため 米国国内での多数の研究者が招待されて参加するジオサット・ワークショップに出席する機会を得たのは幸運なことであった。

ここでは 第5回ジオサット・ワークショップでの話題を紹介する。また 米国地質調査所 (デンバー支所) ジオスペクトラ社 ジيوفジカル・エンパイロメンタル・リサーチ社の訪問で見聞してきた事柄なども紹介したい。

第5回ジオサット・ワークショップへ出席して

第5回ジオサット・ワークショップが開催されたのは 米国中西部のアリゾナ州フラッグスタッフである。フラッグスタッフは 観光名所として名高いグランドキャニオンに近い小さな町である。ここには米国地質調査所のフラッグスタッフ支所がある。筆者はアリゾナ州の州都であるフェニックスから US Air という航空会社の通勤機 (約20名乗り) で フラッグスタッフへ入った。ワークショップは11月4日から8日の5日間にわたり フラッグスタッフ郊外にあるホテルで開催された。筆者をはじめ参加者の多くはこのホテルに滞在して 午前9時から午後6時頃まで熱心に 各自が関心

のあるセッションに出席していた。

ジオサット・ワークショップは ジオサット委員会が主催しているものである。ジオサット委員会は 主として米国の石油・金属などの地下資源を探査・開発している民間企業の出資金によって運営されている非営利法人である。このジオサット委員会の代表は Dr. Frederick HENDERSON 氏である。同氏は 小柄ながら非常に活動的な人である。ジオサットは NASA/JPL と 1978年—1981年にわたり 航空機 TM シミュレータ (NS001) による共同実験を実施したことでも知られている。現在 この共同実験の最終報告書「Joint NASA/Geosat Test Case Project (Final Report)」(2部構成) は AAPG (American Association Petroleum Geologists) より販売されている。これまでにジオサット・ワークショップは2—3年に1回の割合で開催されてきている。前回のジオサット・ワークショップ (1983年) もフラッグスタッフで開催され「Frontiers for geological remote sensing from space」という報告書が米国写真測量学会から出版されている。また 1976年の第1回ジオサット・ワークショップ (フラッグスタッフで開催 ジオサット設立の契機となったワークショップ) の報告書「Geological Remote Sensing From Space」は米国政府機関にも提出され この報告書の提案を米国

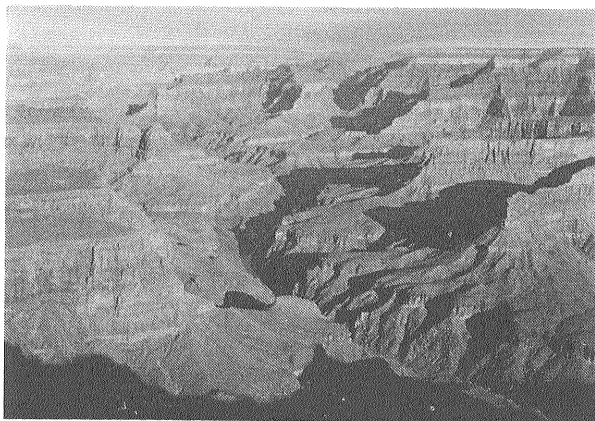


写真1 グランドキャニオンの雄大な風景 (中央にはコロラド川が流れている)。

航空宇宙局 (NASA) が検討した結果 ランドサット4号から短波長赤外領域での $2.2\ \mu\text{m}$ 帯のバンドが追加されたといわれている。勿論 ジオサット・メンバーの強力な支援活動があったためでもあろう。また 1978年に第2回ワークショップが 1981年には第3回ワークショップが開催されている。これらは ジオサットと米国地質調査所 (USGS) が支援機関となり開催された。これらについては 報告書は出されていない。

今回のワークショップの主要テーマは リモートセンシング分野における現在の研究開発状況に立脚して リモートセンシングの目標とギャップを明確にして 今後の研究課題とその実施のための民間と政府機関との協力の在り方を検討することであった。

参加者は 航空宇宙局 海洋大気庁 (NOAA) 地質調査所 農務省 (USDA) などの政府機関やイオサット社 スポット・イマージ社 アエロ・サービス社 テキサコ社 エクソン社 アームコ社 モービル社 シェブロン社 MDA 社 ヒューズ社などのリモートセンシング衛星の開発 運用 データ配布やデータ利用に携わる民間企業およびジェット推進研究所 (JPL) などの大学からの招待者であった。日本からは 筆者と電子技術総合研究所の工藤氏と石油資源開発 (株) の塚田氏の3名が参加した。中国からは地質鉱産部の1名が参加していた。英国からも1名が参加していた。このように米国以外からの参加者は非常に少なかった。総勢では 約80名が参加した。

今回は初日午前中にワークショップの目標について討議された。午後からはオープニング・セッションとして 政府関係機関と民間会社とから研究開発計画について また 研究開発に対する要求および期待に関して発表され 討議が行われた。

このオープニング・セッションで スポット・イマージ社から SPOT-1 衛星の打ち上げ (1985年10月打ち上げが遅れて 1985年12月に予定されていた) が再度遅れて 1986年1月11日に予定されていることが述べられた。SPOT-1号という衛星はフランスが中心になって計画している商業用リモートセンシング衛星の1号機である。SPOT 衛星には HRV (High Resolution Visible) という光学センサーが2台搭載されることになっている。可視・近赤外領域の4バンド (このうち 1つはパンクロ・モードのみ) のデータが地表分解能20m (パンクロ・モードでは 10mの地表分解能) で取得される予定である。特に 注目されているのはステレオ視画像を取得する機

1986年5月号

能を有することである。スポット・イマージ社という民間会社は SPOT-1 により取得される画像データを販売配布するため 1982年7月に設立された。米国内には スポット・イマージ・アメリカ社が設立されている。わが国では (財) リモートセンシング技術センターが窓口となり一般に有償で配布される予定になっている。なお SPOT-2 は1988年に打ち上げられる予定である。また SPOT-3 4の打ち上げ計画も作成されている。フランスの商業リモートセンシングに対する意気込みは大変なものである。

筆者は通商産業省が昭和56年度から実施している衛星データの利用技術の研究開発の状況と1991年に打ち上げる予定で研究開発が進められているわが国の資源衛星 ERS-1 に対する資源関係者の要望について紹介した。工藤氏は ERS-1 の開発に関して 通商産業省工業技術院の大型プロジェクトの体制などを紹介した。

ERS-1 に対する参加者の関心事項はデータの入手についてで データの利用が可能かどうかという点であった。この点については 具体的に説明できる段階に至っていないのが残念であった。わが国も早期に具体的なデータ配布方針とその体制などについて検討し明確にしておく必要があると強く感じた。

2日目からは 下記の4つのセッションに分かれ 発表と討議が行われた。

- Fundamental R & D
- Applications I
geobotany
Renewable Resources
- Applications II
geology
- Computer Technology

この他 ワーキング・グループとして
Oceanographic WG

が設けられていた。

各々のセッションについて 2日目は情報要求につき 3日目は現状の認識とギャップの所在につき 4日目は研究開発の目的 優先度 機構について発表があり 討議がなされた。最終日は民間や大学や政府関係機関との協力に関して 全体のまとめがなされた。

このワークショップで印象に残ったことは スペクトル特性に関する基礎研究の必要性が強く指摘されていたことである。

例えば 可視・近赤外領域では Dr. RAINE は Na モンモリロナイトのスペクトル特性と NH_4 モンモリロ

第1表 ランドサット7号の熱赤外センサの仕様についての要望調査表

Landsat 7 Thermal IR Questionnaire
 For EOSAT Luncheon Buffet
 Thursday, 7 November 1985
 5th Geosat Flagstaff Workshop

● Purpose - To elicit user input on L7 TIR data requirements. (Enhanced TIR is planned for L7, and spectral band choices have yet to be finalized.)

● Initial design summary for L7 TIR capability -

- Four 60 meter TIR spectral bands.
- NEΔT ~ 0.5 K; Δλ ~ 0.5 μm
- 8 - 12 μm coverage, bands to be selected.

● Your Favorite Four TIR Spectral Bands in Priority Order -

Band Priority	λmin (μm)	λmax	Key Application	IFOV (meters)	Desired NEΔT
1.	_____	_____	_____	_____	_____
2.	_____	_____	_____	_____	_____
3.	_____	_____	_____	_____	_____
4.	_____	_____	_____	_____	_____

● Would you like to participate in a subsequent L7 TIR Session? _____

● If you have access to research results that suggest band selections, would you like to present these at such a session? _____

● Your Name: _____

● Organization: _____

● Address: _____

● Telephone Number: _____

● Please return to EOSAT booth, or to EOSAT Buffet head table, or mail to:
 W. A. Kuipers, EOSAT, 4300 Forbes Blvd., Lanham, MD 20706

Thank you very much for your kind cooperation.

ナイトの合成物質のスペクトル特性とを比較して前者は 1.9 と 2.2 μm に吸収があり その間の 2.1 μm にピークが見られるのに対して 後者では 2.1 μm に顕著なピークが見られなくなることを指摘し その理由が明らかでないことなどから スペクトル特性の解明 その測定理論 処理などに研究ギャップが存在することを主張していた。また Dr. SALISBURY は中間赤外/熱赤外領域についての発表の中で 方解石の透過スペクトルと反射スペクトルとの差異について つまり 透過スペクトルでは 7 μm に吸収があるのに 反射スペクトルでは 6.5 μm にピークがあり この約 0.5 μm のシフトが散乱によって生じているものではないかと指摘していた。このように まだ十分に明らかになっていないことがあるため 透過スペクトルと反射スペクトルのライブラリやスペクトル混合 (mixture) の混合モデルの研究の必要性を述べていた。

この他 植生については 近赤外からマイクロ波領域までのスペクトル研究の必要性 また 高分解能測定の必要性が求められていた。例えば 測定分解能の要求レベルとして 実験室で 0.1 nm を 野外でも 1 nm の要求が出されたのに驚いた。また レッド・エッジの物理モデルの研究なども課題に上げられていた。

いずれにしても スペクトル・ライブラリの構築がかなり重要視されていた。わが国でも 工業技術院の大型プロジェクトの一環として 岩石や土壌のスペクトル特性の研究が進められており これを契機にして多くの研究機関が幅広い対象物について広帯域かつ高分解能なペクトル特性の研究を実施する必要があるものと強く印象づけられた。

また ワークショップでは イオサット社から 4-5 名が参加していて ランドサットの民営化に伴って利用者の理解を得るための説明などの努力をしていた。イオサット社の Mr. DYKSTRA がランドサット・データの販売配布についての利用者との契約内容について説明した。この時 オリジナル・データについての詳細が議論になった。つまり 「Enhanced」と「Unenhanced」データの解釈に起因した議論である。イオサット社は画像の販売マーケットを守る上で その解釈を提示して それに対して出席者から様々なケースについて質問がなされた。このように まだ詳細な点では米国内の利用者との間でも完全にはコンセンサスができていないのが現状のようである。

イオサット社からは ランドサット7号の熱赤外センサ (TIR) に対する要望を調査する目的で質問表 (表1) が配布されていた。これは イオサット社として TIR のスペクトル・バンドの選択をしなければならなかったためである。この TIR については ランドサット7号の初期設計では 60m分解能 4バンド NEΔT=0.5 K; Δλ=0.5 μm 8-12μm 領域と設定されている。

ここで ランドサットの民営化について紹介しよう。これは 陸域リモートセンシングの民営化の一環として話題になっているので 良く知られていることと思うが簡単に述べる。

陸域リモートセンシングの民営化については 1984年1月に発表されたレーガン大統領の一般教書において 米国の宇宙開発における将来方向として示された指針の1つである。この陸域リモートセンシングの民営化の第1号がランドサットである。これに伴って 米国内のいくつかの会社が名乗りをあげ 商務省に対してプロ

ポーザルを提出していた。このうちでイースタマン・コダック社を中心とするグループとRCA社を中心とするグループが残っていたが結局RCAグループが商務省の指名を最終的に受けることとなった。このような政府機関の作業と並行して米国議会は陸域リモートセンシングを段階的に商業化するためのフレームワークを提供する上で必要な立法化処置を行い陸域リモートセンシング法 (the Land Remote Sensing Act of 1984 米国公法98-365) が1984年7月17日から効力を生じている。

RCAグループの設立した会社がイオサット社 (Earth Observation Satellite Company) である。イオサット社はRCA社とヒューズ・エアクラフト社とが出資している合弁会社である。グループにはRCA・アストロエレクトロニクス社 ヒューズ社/SBRC コンピュータ・サイエンス社とアース・サテライト社が入っていてそれぞれ業務分担をしている。イオサット社の業務内容はランドサット4, 5号の運用 データ取得処理 配布を継続すること 後続のランドサット6, 7号の製作 打ち上げ 運用 新しい応用分野や市場の開拓 そして市場の需要に沿った新しいセンサの開発などである。したがってイオサット社の諸活動には特に注目しておく必要がある。

米国地質調査所にて

米国地質調査所を訪問するためデンバー空港に到着したのは11月10日であった。デンバーはロッキー山脈の麓の都市であるためか2日程前から米国を襲った寒

波のため雪に埋もれていた。筆者はアリゾナ州フェニックスの暖かな地から突然の雪国への到着で非常に戸惑いを感じた。

米国地質調査所はデンバーのダウンタウンからコルフックス道路をゴールデンへ向かって西へ数km離れた静かな所にある。デンバー・フェデラル・センターには米国地質調査所の主要な組織があるのだが私が訪問した場所は地質調査所の図書館などもあるデンバー・ウェストのオフィス・パークである。ここの第2ビルを使用しているBranch of Geophysics(以前はBranch of Petrophysics & Remote Sensingであった) である。このオフィス・パークには30以上のビルがあり民間企業が利用しているのがほとんどであった。

早朝 Dr. Kenneth WATSON のオフィスを訪ねた。Dr. WATSON は熱赤外のリモートセンシング研究で良く知られてる人物である(写真2)。Dr. WATSON 氏のオフィスのすぐ外にはHPのマイクロ・コンピュータ端末が置かれていてTIMS (Thermal Infrared Multispectral Scanner) データの解析に使っていた。同氏はTIMS, HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) や気象衛星に搭載されているAVHRR (Advanced High Resolution Radiometer) などの熱赤外データによる地質解析の研究を進めている。HCMMの画像は地上分解能が500mであるがイェローストーンでのHCMM画像例を示してランドサットの可視・近赤外データからは認識できなかった地層境界がくっきりと判読できることなどを説明してくれた。また熱赤外航空機搭載データ取得装置や実験用の大型チャンバなどの設備も見せてもらった。

この後 Dr. Roger CLARK から分光反射率の研究状況について話を聞いた。米国地質調査所で分光学 (Spectroscopy) の研究をしているのは約15名くらいだそうである。デンバー支所ではBeckman 5740を用いて岩石や鉱物の分光反射率の測定をしている。その他ガスや液体状態での混合物の分光反射率も測定している。これらの測定データは分光反射率測定装置からIBM-PCというマイクロコンピュータに送られデータ取得がされている。得られたデータは処理速度の速いHP 9000の分光反射率・データベースに収納されHPのマイクロコンピュータ端末で検索・表示などができるようにされていた。検索ソフトウェアはメニュー方式であり実験室で測定された分光反射率データのファイル表示を見てそのファイル番号波長巾で検索できる。またデータの波長分解能が高いので表示する波長帯をグラフィック・カーサーで指示すればズーム機能によって拡大されるようになっている。分光

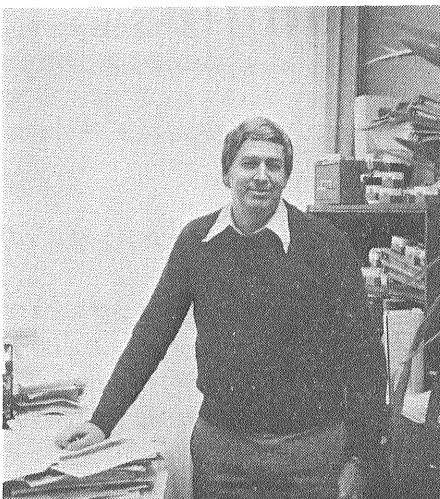


写真2 Dr. WATSON 氏 (オフィスにて)。

反射率データの波長分解能としては 4 種類のタイプがあった。すなわち $0.01 \mu\text{m}$ $0.005 \mu\text{m}$ $0.0025 \mu\text{m}$ $0.00125 \mu\text{m}$ の 4 種類である。検索には キーワードによる自動検索法は使っていなかった。したがってファイル数が増えたときには検索が容易ではないと考えられる。分光反射率データは米国内のいくつかの大学とネットワークを通じて相互に利用できるようである。他に 野外用の反射率測定のために測定角度をコントロールすることのできる実験台も製作されていた。

また ここには Dr. Grapham HUNT が分光反射率の測定に用いたサンプルが保存されているので これらのサンプルケースに収められているものも見せてもらった(写真3)。この他 民間企業から寄贈された岩石サンプルもかなり保存されていて 測定に使っている。

Branch of Geophysics では コンピュータ設備として 画像解析用のものも含めて下記のようなものが使用されていた。

- VAX 11/780
- Perkin Elmer
- HP 9000
- Comtal Vision One/20
- Applicon Color ink-jet printer
- Calcomp plotter(2)
- Optronics photowriter (B/W)
- “ “ (Color)

各研究者は各自の個室からマイクロ・コンピュータなどの端末を使って研究していた。今回は 重力や磁気データの応用分野については聞く機会がなかったがかなり研究しているようであった。リモートセンシング分野での研究活動は活発で 着実に基礎研究と応用研究の



写真3 Dr. HUNT が分光特性の測定に使用した鉱物サンプルの一部。

両面で成果を上げているのが ここでの感想である。

ジオスペクトラ社にて

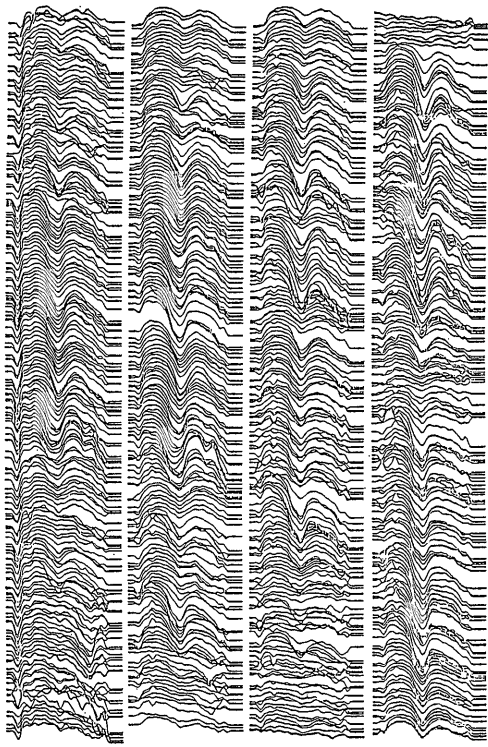
ジオスペクトラ社は ミシガン州のデトロイトの西方アナーバーの郊外にある。アナーバーはミシガン大学のある町で 静かで町並みも非常に美しいところである。ジオスペクトラ社の建物は平屋建ての小さなものであった。筆者が訪れると 副社長の Mr. PLEITNER 氏が出迎えてくれ 早速同社の活動と施設などの説明をしてくれた。残念ながら 社長の Dr. VINCENT 氏は中国へ出張中とのことで不在であった。同社は DTM (地形ディジタル・データ) からシェーディング画像を作成し これに重力図や空中磁気図をカラー画像化したものをオーバーレイした合成画像による地質解析を最初に提案したことで知られている。

同社の設備については VAX 11/750 をホスト・コンピュータにした画像解析用の端末 2 台があり 対話形式で TM 画像の解析に使用していた。この解析では立体視画像も実際に利用していた。VAX 11/750 には アレー・プロセッサがあり 磁気テープ装置および磁気ディスク装置が付帯している通常の画像解析用のシステム構成である。この他 オプトロニクス社の白黒およびカラーのスキヤナーを各々 1 台設置してあった。これらは 画像ネガプリント作成には欠かせないと言っていた。Mr. PLEITNER 氏の説明によれば TM の出現で データ量が膨大になり 補助記憶容量の不足が問題となっているので 磁気ディスク容量をもっと増やしたシステムへ変更する計画があるとのことであった。また写真解析室では 同社が請け負っている TM 画像による解析作業を 3 名の地質屋が大型の透写台を用いて実施していた。また JPL から送られてきている大判カメラ (Large Format Camera) の画像を写真化する際のサイズの検討をしているとのことである。大判カメラは 1984 年 10 月に NASA がスペースシャトルに搭載したものである。

ジオフィジカル・エンバイロメンタル・リサーチ社にて

ジオフィジカル・エンバイロメンタル・リサーチ (GER) 社はニューヨーク市のマンハッタン島の南部にあるビルの 10 階の 1 室にある小さな会社である。同社は IRIS MARK III という野外用スペクトロラジオメータを製作販売していて 米国内では $2.0 - 2.5 \mu\text{m}$ 帯域で 64 チャンネルの航空機搭載センサーによる調査をしている会社である。現在 この航空機調査は 10 地域で

GABBS VALLEY SURVEY AIRCRAFT INFRARED RESIDUAL RADIANCE SPECTRA



WAVELENGTH REGION 2.0-2.5 MICROMETER

第1図 ネバダ州 Gabbs 峡谷での航空機多チャンネル・スペクトル測定調査の出力図 (GER 社提供)。

実施予定であるとのことである。この調査のなかには (財) 資源観測解析センターが大型プロジェクトの一環として米国内での実験計画の策定をしているものも含まれている。同社がこれまでに実施した多チャンネルスペクトル航空機調査の結果の一部を見せてもらった。第1図は ネバダ州の南西部に位置する GABBS 峡谷での例である。この他にも鉱物資源探査や石油資源探査に利用されていて 岩石や鉱物の分布を推定するのに役立っている。データの解析には バックグラウンドのスペクトルを差し引いた残差成分を表示して そのスペクトル曲線の特徴から飛行測線沿いの鉱物分布を視覚的に推定しているとのことである。また チェビシエフ解析も用いているとのことである。しかしながら データ量が膨大であるので デジタル解析には現在は消極的であるように思えた。野外用スペクトロラジオメータの販売実績は20台である。我々は 同社から18台 1986年5月号



写真4 野外用スペクトロラジオメータ (地質調査所所有) による測定の様子。

目を購入して使用している (写真4)。現在 わが国では2台が稼働中である。同社の説明によれば 宇宙開発事業団 (NASDA) からラジアンスの測定に使用できないかということで詳細な説明を求められているとの事であった。

同社の野外用スペクトロラジオメータは特殊な装置にもかかわらず 販売台数が着実に伸びていて 海外諸国へも輸出されている。また 航空機調査にも意欲的であり 今後の活動が注目される。

おわりに

ジオサット・ワークショップは通常の学会とは趣が多岐異なり 参加者からの意見も活発に出され その日に議論された点をそのセッションの議長が取りまとめるというものである。このワークショップの報告書は作成される予定だが 半年後以降に出来上がるものと思われる。

筆者が 今回の米国出張で感じたのは 基礎研究の必要性は勿論だが 人材の開拓がわが国では必要なのではないかという点である。米国は 民間におけるリモートセンシング関係者が非常に多く その活動の状況も活発であると思った。このことは 一部のリモートセンシング関係者が集まったといわれるジオサット・ワークショップの参加者の数でも明らかだろう。

最後に 筆者の米国出張にあたり 御助言・御援助を頂いた地質調査所ならびに (財) 資源観測解析センターの皆様へ感謝いたします。

なお SPOT-1号は1986年2月に打上げられた。