

地学環境の遠隔探知 赤外線 地学への応用について

①

長谷 紘 和

はじめに

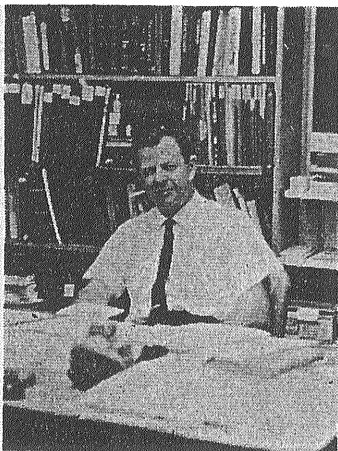
1970年の5月 ソ連が打ち上げた人間衛星ソユーズ9号のニュースによると 今後人工衛星を“地質衛星”として利用することが考えられている。アメリカでは既に地球資源探査衛星計画(Earth Resources Observation Satellite Program 略して EROS 計画という)が具体化して4年になり 地質目的のための人工衛星が打ち上げられるのも間もないことである。このような資源探査衛星打ち上げの目的は アメリカ地質調査所々長 W. Pecora 博士の 次のような言葉に要約されている。

すなわち「われわれは資源に対する需要の著しい増大に対し 資源探査を促進する手段を見付け出さなければならない。これに対して空中写真と空中物探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る点で大きく貢献している。しかし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 (Remote Sensors) を利用することによって その間の開きをある程度うめることができる」

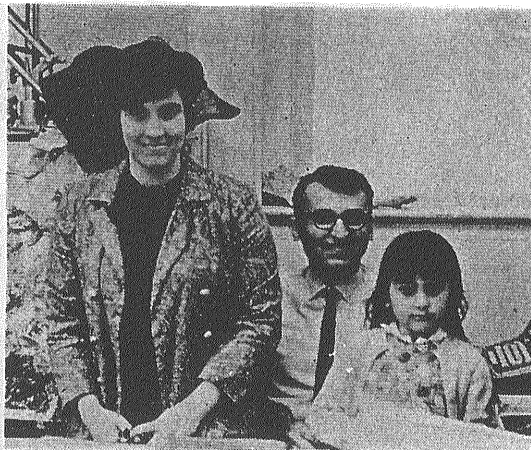
〔米国測量・作図会議(American Congress on Surveying and Mapping) 第27回年次大会における“Surveying the Earth's Resources from Space”講演より〕とのべている。このように今後遠隔探知方式 (Remote Sensing) が われわれ地質家にとってさらに有効な手段として 重要性が増すであろうことが推測される。 実際遠隔探知方式に

関する技術の進歩はまさに日進月歩ではあるが これらの結果をわれわれ地学にたずさわるものが正当に評価するか あるいは評価できるようにならないかぎり おびただしい情報の中に埋まってしまうだけであまり効用がないように思われる この様な認識の上に立って われわれは新しい技術を われわれの分野に利用する努力が必要である。

筆者はここ数年にわたって 遠隔探知方式の一つである赤外線映像が地学に対して大きく貢献できる という確信のもとにこの研究にたずさわってきた。今日の技術では地表面の温度分布を空中から赤外線映像としてとらえることが可能であって このことは温度に関連した地学上の諸問題を解決するのに非常に有効であることは間違いない。特に日本のような火山国では地殻の熱に関連した問題も多いので効用も大きいであろう。事実航空機高度から得られた赤外線映像は地表温度分布を1℃以内でとらえることができる。このことは微小な地表面の温度差をとらえられることを示しているが それが果して微弱な地熱をとらえることに直接つながるのだろうか。われわれの住んでいる地球圏の物理現象のうち 99.97%は太陽エネルギーに起因すると計算されており この膨大なエネルギー源と地熱との関係を明らかにして いかない限り上記の解答を得ることはできない。そこには地表面の熱収支に関する小気候学的な要素を理解することが必要不可欠となってくるし また 技術に関し



Lyon 教授 サイン帳に Wie friegen bei Nacht と書いてくれた 赤外線 Remote Sensing をさしている



Lyon 教授を助ける Dr. Kilinc とその家族



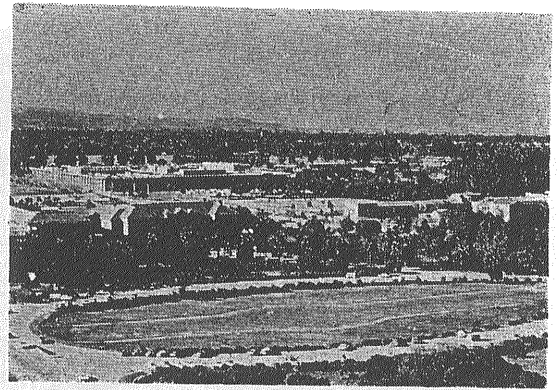
秘書のMrs. Lurofson 滞米頃はアパートの世話 通学時の送り迎えなどすっかりお世話になった。パーティーではゴーゴーも踊る快活な小母さんである

では装置のエレクトロニクスの知識が必要となってくる。このように赤外線方式にかぎらず 遠隔探知方式の地学的応用にこれから取り組もうとする人々は これまでわれわれにはなじみのうすかった分野の知識をも身につけることが大切である。

筆者は現在 赤外線映像によって地表面から放出される地熱流量を定量的に測定することが可能になるのではないかという夢をもっている。 今日熱伝導による地表面熱流量の測定は 非常に困難でわずかに積雪を利用する方法がそれを可能にしているが この方法では雪のないところでは測定不可能である。一刻も早く夢を実現させたいものである。 幸い筆者は科学技術庁の長期留学生の一人として一年間 アメリカ カリフォルニア州にあるスタンフォード大学地球科学学部 遠隔探知研究室で Ronald J. P. Lyon 教授のもと 上記の主題で研究に取り組む機会が与えられた。そして不十分ながらも方法論を確立する段階に達したので ここに本誌の紙面を借りて解説を行なっていくたい。 まだ不備 不足もあるがその点お許しを頂きたいと思う。 またこの機会に読者諸兄からいろいろご教示をいただければ 非常に幸いである。今回は少し紀行文的になったが アメリカにおける遠隔探知方式に対する社会の要請 それに対処する大学の取り組み方などについて書いて見た。

スタンフォード大学

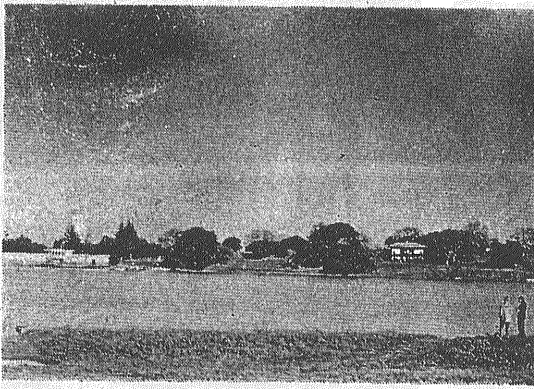
サンフランシスコ空港から 湾に沿ってハイウェイ (Bayshore free way) を南下すると 緑にかこまれた美しい住宅都市がつづく。サンフランシスコメガロポリス (総人口約 260 万) を形成する小都市群である。人口数万の小都市は大都市に共通な混雑 汚濁 憂鬱さとは打って変わって実に美しい環境を保っている。地中海式気候のこの土地には一年中いろいろな花が咲きみだれ 樹種もまた多彩で 南方系のやしの木と北方系の白



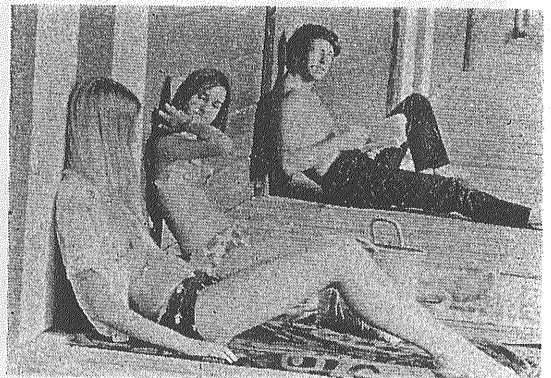
第1図 広大なキャンパスの一隅 遠景の建物は メディカルセンター キャンパス内のユーカリの林ははるかかなたまでつづく フーバー塔の上から

樺とが共生している。ここでは11月末から3月までが雨期にあたり 後背のシエラネバダ山脈には雪を 平地には雨をもたらし。そしてこの時期に平地は緑につつまれ やがて訪ずれる乾期の紺碧の空の下で 樺の木の点在する金色の野に変化するのである。美しい車窓に気を取られながらおよそ30分近く走ると Menlo Park Palo Alto などの町名が目に入ってくる。メンロパークはアメリカ地質調査所の太平洋沿岸センターがある。ところで われわれ地質家にはなじみの深い場所であるパロアルトに隣接して広大なユーカリの樹林がひろがるが ここが実はスタンフォード大学の構内の一部である。大学の敷地は 2,000ha 以上あり しかも一カ所にまとまっているので 最初ここを訪れた人はまずその広さに驚ろかさされてしまう。2,000ha といえば筑波研究学園都市の計画全面積 (1,800ha 余り) よりも広い敷地に相当する。現在約 800ha が教室 実験室 図書館 運動場などとして利用されており 残りは湖やゴルフ場 ゆるやかなスロープをもつ 美しい牧場などとなっている (第1 2 3図)

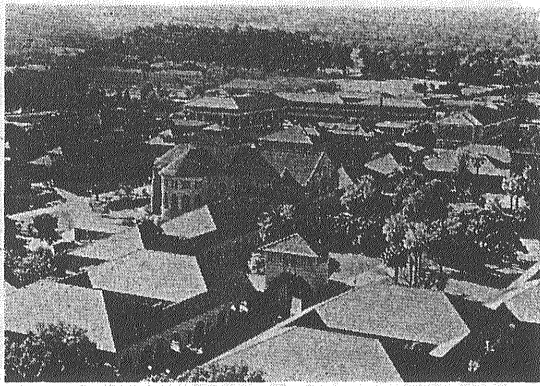
大学は1891年 当時のカリフォルニア知事をつとめ シ



第2図 キャンパス内にあるラグニタ湖 ボートハウスの背後にフーバー塔がみえる



第3図 5月になるとこのラグニタ湖は水泳やヨットなどでにぎわうが 夏にはすっかり水がなくなってしまう



第4図 教会広場を中心とする建物群は長方形に配列し Inner Quadrangle Outer Quadrangle と呼ばれる

エラネバダ山脈をこえて大陸横断鉄道の開通に多大の貢献をした。Leland Stanford とその夫人によって創設された私立大学である。アメリカ西海岸で伝統をほこるこの大学は、スタンフォード夫妻の一粒種の令息がイタリア旅行中チフスで急死したのが設立の大きな動機になっている。学風は西部の新天地にあこがれて移住した人々の気持を代表するように“自由”が最大のモットーである。現在では学生総数11,000人をこえる大学に発展し、リヌヤ小鳥が群れあそぶ、緑陰濃いすばらしい教育環境の中で研究と教育がおこなわれている。

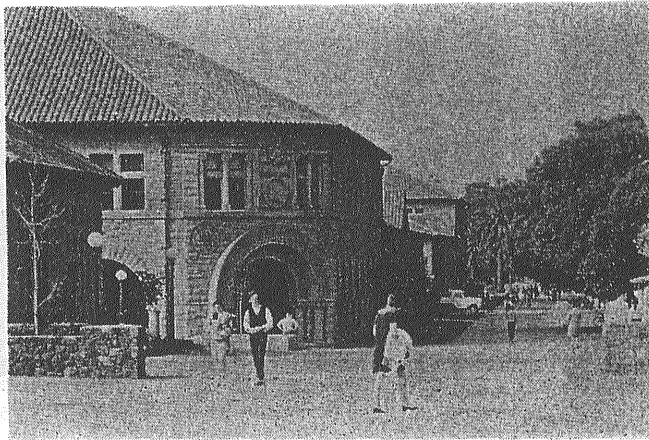
独得の大学の建物群はモザイクで飾られた教会のある広場を中心に長方形に配列し、広場の周囲はアーチ型の模様柱で支えられた回廊がめぐらされている。(第45、6図)石造りの凝ったロマネスク調の建築は Henry Richardson によって設計されたものという。建築石材はスタンフォードから、数十キロ南のサンホゼ(San Jose)から切り出された白亜紀～古第三紀、フランスカン層の粗粒砂岩で美しい樺色をしている。この珍しい建築を見物するために休暇を利用してここを

訪ずれる観光客はかなりの数にのぼっている。しかしながら、美術的にはすぐれたこの建物も地震に対する考慮がなかったために、1906年のサンフランシスコ地震では大きな被害をこうむった。今日では規模の拡大にもなって建物も増築されつつあるが、石材の不足もあってコンクリート建築にかわっている(第7、8図)。しかしあくまで周囲の建物と調和するよう設計されていることはさすがである。

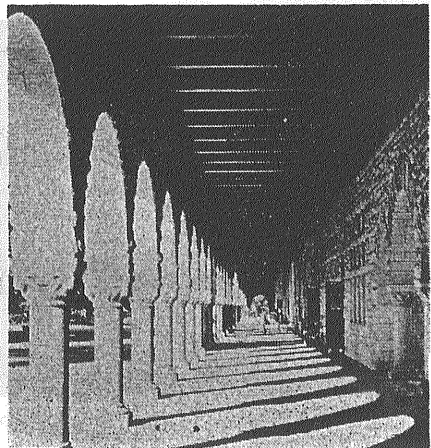
当大学のシンボル、高さ90mほどのフーパー塔は唯一の高層建築で遠くからもよく望見できる。その名前はアメリカ第31代大統領 Herbert Hoover にちなんで付けられた。彼は創立第一回生で、1895年地質学科を卒業した鉱山地質家であった。

学生は外国留学生も多く、考え方も多様であるが、屈託のない気質はどこでも共通しているようで、私もこのような雰囲気の中で学生生活を過ごすことの幸せを感じたものである。現在スタンフォードに在籍する学生は学部学生が約5,800名、大学院学生が約5,200名で大学院生の割合が非常に高く、Graduate schoolに近い性格をもっている。学部学生が少ない理由の一つは、月謝が高いということもあるようだ。学生は平均して年間およそ65万円ほどの授業料と、その上50万円近い寮費を払わなければならない。この金額はアメリカの中流家庭にとっても決して少ない額ではないといふことである。

学生運動の嵐が吹きあれていることはここも例外ではないようだ。もっともカリフォルニア大学パークリの構内で見たように武装警官が多数パトロールしているというようなことはなかったが、私が滞在中のスタンフォードでも工学部の応用電気科が軍事研究に協力しているといつて学生がさわぎ出したことがあった。また日本でも、頭脳集団(think tank)としてよく知られてい

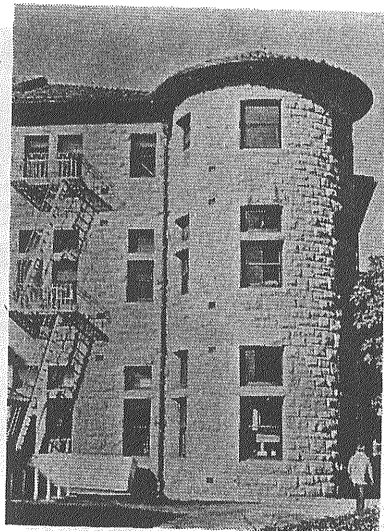


第5図 Quadrangle の一角 石造りのロマネスク様建築が美しい



第6図 Inner Quad. を結ぶ回廊 筆者の研究室の前からうつす

る Stanford Research Institute (SRI) の中にある軍事研究所が同様の主旨で学生から非難され 一時は大学封鎖のうわさも出るほどであったが ピッツァ学長が学内での軍事研究は好ましくない旨の声明を出し また 騒ぎ出した学生の処分はしないことなどを表明するに及んで騒ぎも収まった(第9図) SRI は間もなく大学から切りはなされ別個の機関として売却されることになった。こうして閉校の憂き目はまぬがれたのである。 事態収拾までの経過の細かい点はもちろんわからないが 結果をみるとアメリカ人の合理的なものの考え方以外に彼等に“大人”を感じさせるものがあるように思う。 しかし最近のニュースによれば ピッツァ学長が6月に辞職したことが伝えられている(朝日新聞7月13日社説)。 学生運動に対して寛容であったことに対して 理事会が不信を表明したのがその原因だといわれている。



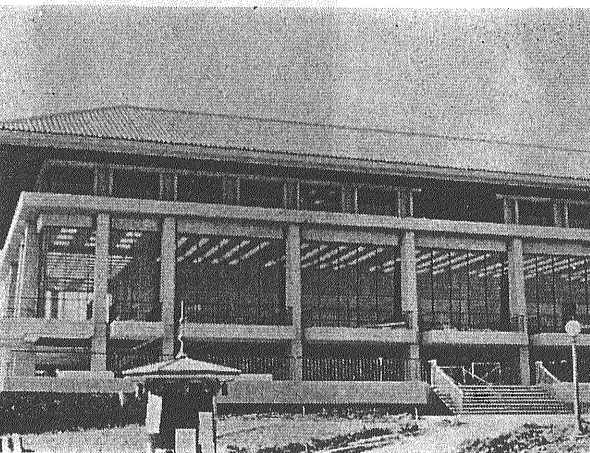
第7図 Geology ビルディングの一角 中生代フランシス層の粗粒砂岩が建築素材として用いられている

サンアンドレアス断層とサンフランシスコ地震

スタンフォード構内西側にあたる場所に恐らく世界で一番長い建物がある。 直線量子加速装置が設置されているところで建物の長さは 3.5km 以上もある。 ここから西におよそ 2km ほどのところには有名な活断層サンアンドレアス断層が北西-南東方向にのびている。断層に沿っては直線状の断層谷が延々と発達し 断層の北端は カリフォルニア北部で太平洋に没して海底を走り南端は ロサンゼルス以南にまで達する実に雄大な第一級の断層である。 そしてこの断層の活動にも関連して カリフォルニア人はわれわれと同様 地震についての恐ろしい経験を持っているのである。

1906年4月18日早朝5時13分 震度8.3の地震がサンフランシスコ周辺部を襲った。 震動は約45秒間続いたといわれ 600名以上の死者を出す災害となった。 地震につづいてサンフランシスコでは大火災が発生し当時

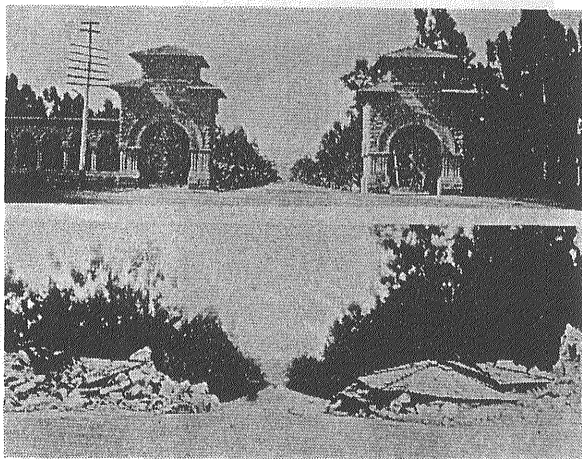
の金で4億ドルもの損害を蒙った。 その他 この時の地震で特に被害が大きかったのは サントローザ サンホゼなどの市で 建築後間もないスタンフォード大学も大きな被害を受けた(第10 11 12図) 地震の際サンアンドレアス断層は活断層として転位したのである。 それまで地質家はこの断層について垂直成分の大きな断層と考えていたが 実際生じた割れ目は垂直方向のずれがいずれも 1m 未満であったにも拘わらず 水平方向のずれは最大 7m 近くに達した。 これ以後同断層は右水平ずり断層(Right lateral fault)として再認識されるようになった。 今日の地質学的な調査資料によると断層は第三紀以後 相対的に 200km もずれていることが明らかにされている。 さらに現在でも活発に運動しており 年間 2~15cm 程のずれが観測されている。



第8図 新築完成間じかい New Geology ビルディング ぜいたくな設計で 大きなガラス張りの2階は 主として講義室になること



第9図 学生運動の情景 オールドユニオンの前にすえられた車は警察の車に見立ててある そばに大きなハンマーがあり皆に思いきり打ちおろさせる 3日も経つとごらんとおり



第10図 サンフランシスコ大地震を伝える当時の写真上はできたばかりのスタンフォード大学正門 下は地震で完全に破壊された写真

地球科学科 (School of Earth Sciences)

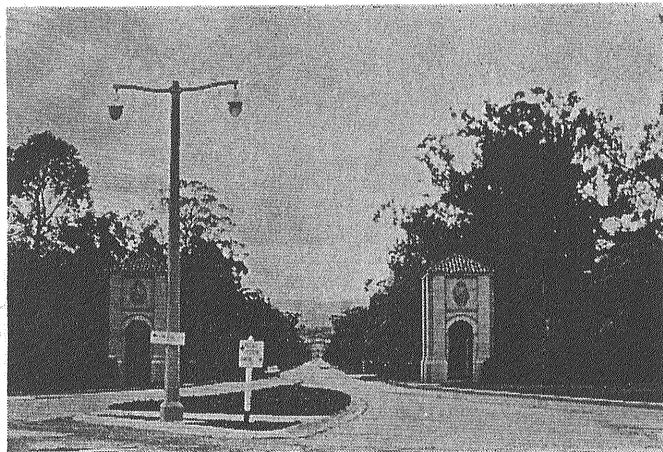
大学は全部で6学科(School)と18の独立した研究所・学部(Department)からなっている。この中で地学に関連する部門は地球科学科に属している。海洋に関しては別の学科 School of Humanities and Sciences が担当する。学科 学部の概念は日本とかなり異なっていて地球科学科は一つの大きな研究組織で 次の3つの学部を含む

- 地球科学科 (School of Earth Sciences)
 - 地質 (Geology Department)
 - 一般地質 岩石鉱物 地球化学 層位
 - 古生物 応用地質 (鉱床)
 - 地球物理 (Geophysics Department)
 - 一般地球物理 地磁気 古地磁気など
 - 鉱物工学 (Mineral Engineering Department)
 - 結晶 冶金 選鉱精錬 岩石物性など
 - 石油工学 (Petroleum Engineering Department)
 - 石油採掘 油槽工学など

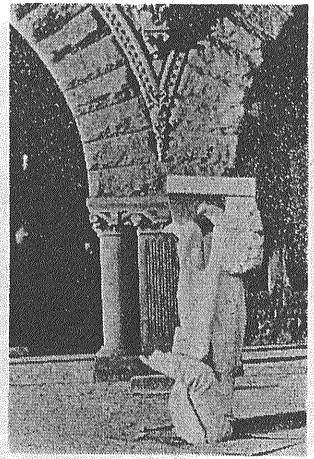
Mineral Engineering Department はわれわれ地質家からみると研究分野が多様に富んでおり 把握しにくい。遠隔探知 (Geologic Remote Sensing) 研究室もこの学部属している。地球科学科では他に現在2つの特別なプログラムを持っており ユニークな研究が重点的になされている。

その一つは Applied Mechanics Dept. や Material Science Dept. の施設が地学研究者に使用できるように計画が組まれていることである。当大学の上記の学部は全米でも一 二を争う設備に恵まれており それらの設備を利用してたとえば地球物質の塑性変形 断層 褶曲の成生過程 餅盤の貫入機構 といったマクロな地質現象解明に関する研究から 結晶の双晶発生過程 地球物質の物性に関する研究など ミクロな現象の解明が地球科学科の研究者 学生などによって進められている。

他の一つは 環境地球科学 (Environmental Earth Science) 研究プログラムである。これは地質過程に関する人間の行動の効果 あるいは人間活動に対する地質の影響 といった主題の意味を含んでいる。当大学の置かれた地理的な位置は アメリカでももっとも人口の急増に悩まされている地域にある。その上 アメリカではもっとも地殻変動の激しいところに位置している。気候に恵まれたカリフォルニア州 特に太平洋沿岸は 電子 石油 航空機産業が発達し 日本よりやや広い (約40万 km²) 土地に2千万人が住んでいる。日本の状態からみるとまだはるかに恵まれているが 毎年人口が約10%も増加している。このような現状では地盤沈下や地すべり 地震 断層 あるいは人口増に伴う水の問題 といった地学上の問題も非常に重要性を帯びてきている。このプログラムの中ではこのような問題に対処



第11図 現在のスタンフォード正門道の両側のやしの木の成長が60余年の歴史を物語っている



第12図 地震と共に当学教授だった地質・博物学者 Louis Agassizの像は2階から落ちて下の舗面に頭をつっこんでいる

できる学生 研究者の養成がもくろまれている。そして地質学以外に地形学 水理学 土質工学 写真測量 写真地質などの専門知識が得られるよう計画されている。地質過程を現時点でとらえ環境科学として取り扱える新しいタイプの地質学者が養成されつつあるのである。

大学における Remote Sensing コース

さて 前節で記したように スタンフォード大学では Remote Sensing 研究室が Mineral Engineering Dept. に属しているが この点についてはあまり必然性はないようである。しかし 大学に Remote Sensing コースが設けられるようになった背景には 大きな社会の要請と必要性がある。すなわち 冒頭で述べたように アメリカの宇宙計画と 資源探査衛星計画(EROS計画)に 密接な関連を持っているといつてよい。それは EROS 計画が具体化して公表された1966年同年 すでに幾つかの大学で Remote Sensing コースが開設されていることからもうなずかれる。

アメリカ地質調査所の集計によると 1960—1963年の間に TIROS (I—IV号)衛星によって地上に送られてきた地球の写真は 全部で21万葉以上にのぼった。また NIMBUS (I II号)衛星は 地球を周回した52日間に 42,000葉の写真を送ってきたし 月衛星船 Surveyer 1号だけで得られた月面写真は 11,000葉にもものぼっている。この莫大な資料を専門的に整理し 解釈するためには300名の地質家が必要とされている。一方 EROS 計画が 具体化すれば 700 名が必要と見込まれる。EROS 計画が実現すると それに伴って送られてくる地球に関する資料は Remote Sensing のあらゆる(普通写真 多波長帯域写真 赤外カラー写真 赤外映像など)データ形式をとるであろう。したがって大学ではこのようなデータを地質学的に正しく評価し得る専門家を養成することが急務となってきた訳である。現在筆者が知っている範囲で Remote Sensing コースをもつ大学は 下記の通りである。

スタンフォード大学 (Stanford U.) 地質
コロラド鉱山大学 (Colorado School of Mine) 地質
ネバダ大学 (The University of Nevada) 地質 地球物理
カンサス大学 (The University of Kansas) 地理
カリフォルニア大学 (The University of California) 農林学
ブルデュー大学 (Perdue U.) 農学
コロラド州立大学 (Colorado State U.) 生態学
ミシガン大学 (The University of Michigan) 工学 物理

スタンフォードの Remote Sensing 研究室
1966年設立されて以来 Lyon 教授が主となって研究

を進めている。教授は西オーストラリア大学を卒業後 渡米しカリフォルニア大学で学位を得たオーストラリア系アメリカ人である。研究や講義では 大変精力的で 迫力があり声の大きなことは名前を思い出させるものがある。先生はライオンがよく犬に吠えられるよと笑っておられた。しかし温厚な紳士でよく研究面の指導をしてくれる。Remote Sensing の地質部門では第一人者といえるだろう。教授の専門は鉱物の赤外線(中間～遠赤外)領域における分光学的研究で この領域が月面や地球表面物質の遠隔探知に有効なことを明らかにした。そして現在遠隔探知用のスペクトロメーターを製作しつつある。スペクトロメーターは $8\mu\text{--}13\mu$ の波長域に対して有効で この領域を6分の1秒という速い速度で掃引できる。この装置を航空機に積むとたとえば 高度 650m で 時速 280km と仮定すると1回の掃引は地表13mに相当し この単位の地質情報がビデオに記録され あらかじめ実験室で得られた各種岩石データと比較され地質を判定するという原理である。データの比較には計算機が使用される。最初の飛行実験は シェラネバダ山中で行なわれ その結果は90%近い確率を示した。ただし 計算機が牧場を玄武岩 と答えるような誤りはあるようで 植生の濃い地域における適用には限度がありそうである。教授は当面の目標を Remote Sensing による地質図(岩相図)の作製にあり 最終的には単位の貫入岩体の化学成分の累帯構造などが この方法で判明するのではないかという夢をお持ちである。この研究室では教授の上記の専門の他に赤外線映像の解釈に関する研究を行なっている(筆者の研究目的もこの分野にある)。そして ポーフィリカッパー-鉱床地帯である ネバダ州 Tonopah Goldfield にモデル実験地を持って研究調査を行なっている。その他 カリフォルニア州 Mono Lake において水理地質学的な研究が行なわれている。これらの結果は大変興味深いので 後にこの誌面で解説ご紹介したいと思う。

Remote Sensing 研究室の人員構成は次のよである。

教授 Ronald J. P. Lyon
共同研究者 Attila Kilinc
エレクトロニクス技術者 Kenneth Worman
Ronald Mcmillan
Wein Zimmerman
計算機技術者 Michael Heathman
秘書 Trudy Lurofson Sinthia Shroeder Gail Fromm

エレクトロニクス技術者は通常1人 秘書も通常は1人で一年間でもかなり動きが激しい。筆者は客員研究員として研究に従事した。同研究室では他に Geology Dept. の Keenan Lee が Mono Lake における地質と

赤外線映像の解析に関する研究で Ph. D. が授与されたが、恐らく遠隔探知に関して初めての博士であろう。彼は現在コロラド鉱山大学で助教授となっている。また筆者の滞在中 Geology Dept. の Robert Campbell と Geophysics Dept. の Rossman W. Smith Jr. の2人が Remote Sensing に関する研究で修士号が与えられた。この研究室では Lyon 教授が Principle Investigator としてアメリカ航空宇宙局(NASA)—地質調査所(USGS)と研究契約を結び Remote Sensing に関する研究資金はこのルートで教授に与えられる。そして研究者他の人件費 研究備品 調査費などとして使用される。他方 教授 および 研究者は NASA に対して研究進捗状況報告の義務を負う。それは 30日リポート(手紙程度の報告) 90日リポートおよび最終リポートの提出を含んでいる。またたとえばNASA当局が一括して行なう各種 Remote Sensing 資料については 各々の調査地域の資料が 各 Principle Investigator に与えられ 担当者は各自の報告が印刷されるまでは オリジナル資料として保持する権利を持っている。研究室のおもな設備は 赤外線スペクトロメーター2台(1台は現在航空用としてデザイン中のもの) およびこのモニター用具一式 赤外線放射温度計 PRT-5 2台 PRT-4 1台 IT-3 1台 地上調査測定用トラック1台 などである。

講義は一年のうち Winter Spring Quarter の主として雨期に行なわれ 昨年は女性2人を含むおよそ15人程のシニア 大学院 学生が講義を受けていた。教課は Geologic Remote Sensing と呼ばれ。

1. 写真地質(空中写真) Arthur D. Howard 教授
2. 赤外 およびレーダー映像 Ronald J. P. Lyon 教授
3. その他のエアボーン Remote Sensing テクニック 主として外部からの講師

が教課内容に含まれている。

コロラド鉱山大学での Remote Sensing

コロラド鉱山大学は地学に関して Remote Sensing コースを持っているもう一つの大学である。高原の秋のある日 デンバーの地質調査所で赤外線映像に関する研究をしている USGS の Dr. Greene に伴われて担当教授の Dr. Grose を訪問する。大学はデンバーの中心部から西へおよそ 40km 離れた Golden の町にある。爽やかな秋風に吹かれて ロッキー山麓のアスペン(ポプラ科の一種)はもう黄色い葉波を立てている。テーブルマウンテンを背景に 中央棟 Guggenheim Hall の

3階に 教授の研究室はあった(第13図)

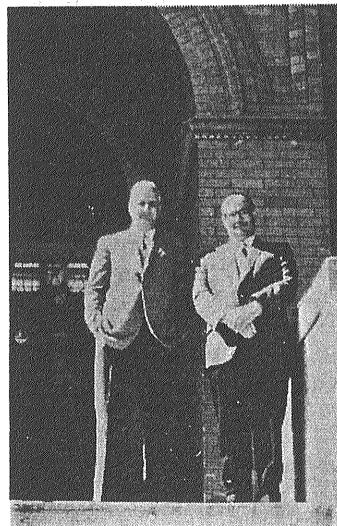
当大学の Remotn Sensing コースは 1966年に設置された。そして1969年4月に NASA の Office of University Affairs から 鉱物資源探査の Remote Sensing について 中央コロラドの鉱山地帯がモデル地域に選定され 3年計画で研究が行なわれることになった。

この研究に対して当大学とデンバーの マルチン・マリエッタ会社が共同で研究を進めることになっている。研究計画はモデル地域の名前をとって Bonanza 計画と呼ばれ 3年間に9千万円の研究費がついている。すなわち ボナンザ地域遠隔探査では 多波長帯域写真 赤外線映像 レーダー映像 マイクロ波技術などの資料を駆使して 地質学 水理学 土壌学的な研究が推進される予定である。

当大学における Remote Sensing コースの教課内容は次のようなものである。

1. 電磁波に関する基本物理
2. 物理探査装置 (Remote Sensors)
3. Remote Sensing データの地質学的判読と応用

1969年9月現在 ボナンザ計画には8人の研究員と4人の大学院学生が参加しており 土壌の電気的特性に関する地球物理学的研究 あるいは第四紀地殻変動に関する地質学的研究 といったテーマで取り組んでいる。ここではまた Remote Sensing 図書館が設置され 現状では余り整備されていないが今後教育という立場から充実を図って行くとのことで 1~2年後にもう一度ここを訪れて成果を見てほしいと Grose 教授は力説された。デンバー周辺はアメリカ地質調査所の支所に USGS 関



第13図
コロラド鉱山大学
Guggenheim Hall
の正門に立つGrose
教授(向かって左)
とUSGSのDr.
Greene

係の Remote Sensing 研究センター(おもに赤外線関係)が設置されたのを始め デンバー市北部 フォートコリンズにある コロラド州立大学でも 農林生態学に Remote Sensing コースがあつてこの分野の一つの中心地となっている。

以上アメリカの大学における地質関係の Remote Sensing に関する現状について知りえた範囲で述べた。この他同様の研究は USGS および民間会社でも行なわれておりベンディクス H. R. B. シンガー社などではかなりの数の専門地質家がいるようである。なお1962年以来ミシガン大学(The University of Michigan)において「環境探知」に関するシンポジウムが開催され 昨年から国際シンポジウムへと発展し 今年には第7回が開催される予定である。

Remote Sensing と EROS 計画

アメリカでは Remote Sensing に関する研究が資源探査衛星計画(Earth Resources Observation Satellite Program EROS 計画)と密接な関連を持っていることについては前に記したとおりである。この計画の詳細については 松野技官が地質ニュースに書いておられるのでご参照頂きたい(地質ニュース No. 182 pp. 1~11)。筆者は昨年10月 ワシントンで一週間にわたつてアメリカ地質調査所で NASA の研究調整官をしている Willam A. Fischer William R. Hemphill 両博士の他 EROS 計画に参画している多くの地質家から説明を聞く機会を得たので その時得た知識をもとに EROS 計画の地学分野について補足をしたと思う。

EROS 計画が具体化され公表されたのは 1966年9月のことである。これは その前年1965年8月 2人の宇宙飛行士 Gordon Cooper Charles Cernan を乗せた有人衛星 ジェミニV号から得られた軌道上(高度約 160~340km から得られた地球のカラー写真の評価から急に具体化したといつてもよいであろう。この時宇宙飛行士はスウェーデン製のツアイスのレンズを持つハッセルブラートと呼ばれる手持ち 70mm 画角のカメラを用いて地球写真を撮影したのであるが この写真は斜め写真であるにもかかわらず 地球およびその環境を対象とする人々から多くの利用価値が認められ ここに地質専門家を含む 自然 環境科学者達が集まり推進力になって 地球環境 資源探査目的の EROS 計画の発足となったのである。そして アメリカ内務省 農林省 海軍海洋局などの政府機関の中から専門家が集まっていくつつかの Working group が生まれた。われわれ地学関係者に関係の深いワーキンググループとして

鉱物および陸域資源 (Mineral and Land Resources)
 海洋資源 (Marine Resources)
 海洋地質 (Marine Geology)
 地理 (Geography)

などのグループが内務省(アメリカ地質調査所)内に結成された。その他水資源に関しては 水資源 (Water Resources) グループが 砂漠研究所 (Desert Research Inst) TVA. (Tennessee Valley Authority) などの専門家を中心に結成された。そして実際的な EROS 計画の実行段階として まず 装置のテストを含めて人工衛星2コを打上げることが計画されている。この衛星は ERTS (Earth Resources Technology Satellite) と呼ばれ 最初の打上げは遅くとも 1972年3月末までになされる予定である。EROS 計画における最終目標をアメリカでは次のような点においている。

- ・各省庁間の資源に関する研究を統合すること
- ・資源および環境の管理について各省庁の役割を高めること
- ・国内 国外 および南極における要望と需要を満たすために 資質の向上をはかること

これらの最終目標のために ERTS には各種の Remote Sensor が搭載される(地質ニュース No. 182 参照) こうした目標に向かって アメリカ地質調査所では 1970年度の会計年(1970年7月—1971年6月)において 次の3つの目標をかかげている (Dr. W. Hemphill 談)。

- 1) 変化しつつある地質現象のモニター (くり返し撮影される人工衛星からの資料を時間の関数としてとらえる。その内容は
 - イ) 河口における堆積パターンの変化 移動についての資料を得ることで サンフランシスコ湾 テキサス湾岸地域で比較的低い高度からデータの収集が行なわれることになるだろう。
 - ロ) 地震計を内蔵した小さな衛星を打ち上げ (ERTS 衛星かあるいは この目的のために新しい 別個の衛星を打ち上げるのか不詳) 比較的狭い範囲での地震モニター たえば火山地域における火山性地震モニターを行なう。当面は 地域としてハワイが選ばれている。
- 2) 植生のパターン 割れ目のパターン あるいは積雪などの情報を 撮影時における太陽の高度との関係においてとらえ 太陽の斜光入射による地質現象の強調 (enhancement) 作用を明らかにする。この目指すところは 広い範囲の地域を一

度に撮影できるところから大陸のスケールの地質あるいは地球物理関係を把握しようというものである。(宇宙写真1葉に含まれる地域を普通写真のモザイクによって埋めようとする場合はどうしても写真個々の階調の違いによって大構造は把握がたい)。モデル地域はアメリカ南西部に設定され約400km²の地域内で割れ目パターンと鉱床との関係を調べる(筆者註 地域はポナザ地域を指しているのではなからうかと思われる)

3) 赤外線による地熱異常のモニター

現段階では赤外装置の解像度の点からこの目標は主として野外や実験室での基礎研究に向けられている。それらは赤外分光計(遠赤外)により珪酸や炭素など単一化学成分をもつ結晶粒子の粒径と分光学的な関係(筆者註 Lyon 教授の専門分野)やあるいはイエローストン公園における複雑な要素を含んだ実際のフィールドにおいて赤外線と地表物質との関係を明らかにしていく研究が含まれている。

なおこれらの目標のうちで1)のロ)については1971年度の会計年において北カスケード中央アメリカの火山などにモデル地域を設定して継続され将来は世界の火山のモニターあるいはサンアンドレアス断層のような大規模断層のモニターに適用していく見通しである。

Remote Sensing とくに赤外線映像についての筆者の見解

これまで述べてきたようにアメリカでは Remote Sensing に対する必要性が高まり大学の教課の中にも取り入れられるようになってきた。しかしわが国においてはその科学技術的な背景と国土の違いをはっきり認識しなければならないと思う。アメリカの Remote

Sensing は大きな宇宙開発 および人工衛星という柱のもとに進められており 各種のエアボーンによる Remote Sensor の実験は最終的に宇宙からの情報を判読するために行なわれていると言ってもよい。こうした中で筆者はエアボーンによる赤外線映像のデータが宇宙からの探査という目的を別にしても われわれ地学関係者に対して特にわが国では利点が多いのではないかと考えている。赤外線に関してはアメリカでもその解像度などの点から人工衛星にすぐ搭載できるとは考えていない。しかしながらこの方式はエアボーンによる飛行高度ならば十分にわれわれにとって有益な情報をもたらしてくれる。赤外線映像によって得られた結果は地表の温度分布を示すものであるから わが国ではまず地熱探査に適用できないだろうかという可能性が考えられる。また太陽エネルギーによる地表温度の影響は表層土壌の水分によって著しく変化する(たとえば土壌中の水分含量によって熱伝導率が1ケタ違う)のでわが国の気象条件のもとでは温度差によって強調される赤外線映像の地質判読効果は大いに期待がもてる。アメリカ南西部あるいはネバダ州 Goldfield における映像例は砂漠〜半砂漠気候下において地質構造がわずかな水分含量の差によって大きく強調される事実を如実に物語っている。この様な興味深い事例はこれからこの紙面でご紹介したいと思う。

わが国では地質探査を目的とする空中赤外線撮像装置が1966年日本電気で設計製作され航測会社においてもアジア航測などで研究と調査が行なわれつつある。こうした情勢のもとでこれまでの研究を整理しまた興味深い例を引用しつつ解説を試みることは意義のあることだと思ふ次第である。ここで更めてこれまでの分野に関して多くの指導を受けたアメリカ地質調査所 William Fischer 博士 Donald White 博士 スタンフォード大学 Ronald Lyon 教授 地質調査所 松野久也技官に厚く感謝する。最後に筆者の滞米中の調査日程を記す。(筆者は応用地質部)

月 日	調 査 ・ 訪 問 地 域	おもなる面会者(敬称略)
1969年2月10日 5月22日〜6月8日	サンフランシスコ着スタンフォード大学におもむく カリフォルニア州モノ湖にて地熱と太陽エネルギーの測定調査	Ronald Lyon (スタンフォード大) Keenan Lee (スタンフォード大)
8月30日〜9月12日 9月13日〜9月16日	イエローストン公園において同上 測定調査 USGS デンバー支所およびコロラド鉱山 大学訪問	Donald White (USGS) Lee Miller (コロラド州大) Godon Greene (USGS) Trowbridge Grose (コロラド鉱山大)
10月5日〜10月10日	ネバダ州トノーバー ゴールドフィールドにて遠隔探査に関する地表調査	Attila Kilinc, James Hylands 他 (スタンフォード大)
10月14日〜10月16日	ミシガン大学 (Ann Arbor) における第6回環境の遠隔探査に関するシンポジウム出席	
10月20日〜10月25日	ワシントン USGS にて遠隔探査と EROS 計画に関する地質専門家訪問	W. Fischer W. Hemphill J. Friedman S. Gawarecki A. Kover, R. Fary (USGS) 他
1970年2月9日	東京 着	