



駒井二郎

I. はじめに

電磁法そのものの歴史はかなり古く、遠く1910年代にはすでにその萌芽をみる。当初の方法は LUNDBERG SUNDBERG など おもにスウェーデン系の技術者によって開発されてきた。現今 多様性に富む電磁法のなかでも大きな比重を占めている水平ループ法や流電電磁法に対し SLINGRAM とか TURAM といった名称が半ば代名詞化しているのはこの理由による。

しかし、これが陸地を離れて空へ舞上ったのは第二次大戦後のことであり、しかもいち早く手を染めた LUNDBERG EXPLORATIONS がうまくゆかず投げ出したあと INCO が史上初の空中電磁法 (Airborne Electromagnetics 以下 AEM) の実用化に成功して Heath Steele 鉱山の発見にいたるのには、1950年まで待たねばならなかった。

空中からの磁気測定技術が戦時中、すでに対潜兵器としてその活躍の場を見出し、資源探査の方面でも1946年には早くも調査飛行の運びとなったのに比較すれば4年の遅れである。しかも、石油に金属に、あるいは mapping にと、多方面に縦横の汎用性を発揮して爆発的に成長して行った空中磁気探査に比し、AEM の適用範囲はどうしても金属鉱床に限られがちだったし、INCO 以降もとくに急速に発展したわけではない。INCO につづいて史上にその名をとどめる先駆者は American Metals Co., Aeromagnetic Survey Ltd. およびスウェーデンの ABEM など、これらの出現が1955年のことであるから、さらに5年が空白のまま残されていた勘定になる。

もっとも、このあとにはわかにかに動きが活発となり Rio Tinto Newmont Spartan Varian—TGS などの大手が続々と AEM の開発に乗り出して、またたくうちに十種類ほどのシステムが一気に出そろった。1957年に

は NuCOM が早々と AFMAG 法の調査を行ない、INP UT も59年には名乗りをあげているから、VLF 法以外の AEM の原型は、50年代にはほぼ、確立されたとみてよいであろう。

しかし、空中磁気探査が主として石油業界をその母胎として伸びて行ったのに反し、AEM が基盤を置く金属鉱業界の閉鎖性も災いして各社の活動状況の多くは門外不出とされ、長く秘密のベールに包まれていた。

もっとも石油業界では、その中核をなす反射法地震探鉱などの新しい技術の相当部分が、調査請負企業を中心として開発されて行ったのに対し、AEM は INCO の例にその象徴をみるごとく、各鉱山会社がみずからの手で研究した場合が多かっただけに、ある程度の PR 不足は無理もなかった。

60年代に入って、ようやくこれらの技術は漸次、請負業界にライセンスが与えられ、同時に部分的ながら資料も徐々に公開されはじめたのである。それでも初期の頃は、他の分野にくらべるとかなり控え目な印象が否めなかったが、最近にいたって急速に雲行きが変わり、今日ではわれわれはおびただしい情報の洪水に溺れんばかりのにぎやかさとなった。

現在、邦語に限っても AEM に関する講座、解説の類に必ずしも不足しているわけではないが、ここ数年におけるこの分野の発展は、わずか一年前のデータが陳腐化してみえるほどにまことにめざましい。これは AEM だけでなく、広く電磁気現象を利用する探査技術全般についていえることであって、鉱山物探界の泰斗 S. WARD (1971) によれば、まさに “step-function change” に相当する。すなわち、一方の極にはかの Magnetotelluric 法を筆頭とするさまざまな電磁的垂直探査法のいちじるしい発展があり、他方の極にはいわゆる Remote Sensing の驚異的な興隆が新時代の開幕を告げている。Remote Sensing としての視点よりは、AEM は軍事上

の要求とは関係なく発展してきたほとんど 唯一の技術といえる独特のものであろう。

以下に近年 面目を全く一新して 劇的ともいえる展開をとげつつある AEM の全体像を概観していく。

II. 総 論

II-1 電 磁 法 の 光 と 影

ひとくちに AEM といっても その種類ははなはだ多彩であり 自動車や薬の名前よろしく 横文字を並べた商品名が 装いをこらして次から次へと登場してくること 物理探査法のなかでは非爆薬震源とともに双壁といえよう。なかには線香花火のように 呆気なく短い生涯を終えたものも少なくないが 輩出する新顔にもまたこと欠かない。

現今 実際に稼動している AEM システムは十指にあまるけれども これを方法論的に整理してみると 基本型は案外 少ないことに気がつく。唯一の時間領域測定法として異彩を放つ INPUT と 一部の VLF 法 (AFMAG 法) および TURAIR をのぞけば そのことごとくが地上の電磁法 (Ground Electromagnetics 以下 GEM) で "水平コイル法 (Horizontal Loop Method, Moving Source-Receiver Method, または SLINGRAM)" と呼ばれている範ちゅうに属する。ひとつひとつは大同小異 といったは語弊があるかも知れないが 少なくともその変形であることは間違いない。

また 送受信コイルの取付け方によって分類すれば "固定ブーム (rigid boom) 式" と "曳航バード (towed bird 式)" に大別され 一応 後者には含まれるものの相当 毛色の変った個性を有するのが「回転磁界式」や INCO INPUT などの諸方式であって 一方 OTTER の系統や DIGHEM などは前者に属する。これが TURAIR や VLF 法 (AFMAG 法) になると 強いて分類すれば "曳航バード式" の一種と考えられなくてもないが 後者のなかにはバードを曳航しない方式の方がむしろ多く 反面 長大なバードを吊下げる "固定ブーム式" が少なくないのだからややこしい。

これらの変わり種はもちろんのこと "conventional" な各方式にしても 送受両コイルの相対的配列や 測定量の種類などによってさらに細分されてゆくけれどもかかる「分類学」および基礎理論の詳細などについては教科書的な諸文献にゆずり ここでは表題にしたがって 今日 AEM の世界に吹きまくっている exciting な新風の紹介に徹してゆくこととする。ただ 数ある物理探査法のなかでも 有機的な体系化が かくもおこなわれている分野はまことに珍しい。1964年 VLF 法の効果や

「固定ブーム式」と「曳航バード式」の優劣をめぐる BOSSCHART and PEMBERTON と PATERSON RONKA らとの間にくりひろげられた熱い論争などは AEM をめぐる混沌とした現状を如実に表わしたものとえよう。

まず全般的傾向の一つとして 相対的にはあるが AEM の作業量が 世界的にきわめて安定した実績を確保している点が注目される。急増しているのならともかく 伸び率としてはほぼ横ばいにとどまっている以上 このこと自体は本来 それほど dramatic な現象ではないのだが より普遍性に恵まれているはずの空中磁探のラインマイル数が 年度によって変動常なくまして AEM と同じく直接探鉱の性格が濃厚な空中放射能探査にいたっては一段と荒れ模様で とくに 探鉱界全体を襲った "Geophysical Crisis" の1964年 ほとんど全減に近い打撃を受けている惨状などに比較すれば やはり特筆に値するといえるだろう。しかも 通常の金属鉱山に適用されている GEM は 対照的に凋落の一途をたどっているのだから面白い。いうまでもなく 探鉱の主力がより深部へと向けられてゆくにつれ 電磁法の宿命的弱点ともいべき可探深度の不足が浮彫りにされ さらに銅についていえば ポーフリイリ銅型鉱床のような低品位鉱床の探鉱が急務となってきたため IP 法に押され放しの趨勢がすっかり定着してしまったのである。極言すれば 今や流電電磁法と一部の VLF 法 (AFMAG 法) をのぞく GEM は IP 法や比抵抗法で不可欠の電線・電極にまつわる面倒な作業がなく てすむ という簡便性からもたらされる高エネルギー→低コストが最大のよりどころとみなされるにすぎなくなった。無論 比較的浅部に胚胎を予想される塊状硫化鉱床に対しては 今なお 有力な探鉱法のひとつに数えられるけれども 全般的な退潮は否定しがたい。

1960年以降 7年間の SEG (米国物理探査技術者協会) 統計によれば GEM が逐年 IP 法に追い越されてきた情況がはっきりと表われており とくに66年以降は急速に落ち込んで 経費別では IP 法の四分の一を下回る有様となった。これが62年にはまだ GEM の方が IP 法より多かったのだから今昔の感にたえない。68年には GEM の実施高は 3 4 5位を占める地震 重力 磁気にさえ抜かれて 第6位に転落したのである。

これに反し 空中探査では電磁法の地位は微動だにしない。最近でこそ 空中 IP 法がようやく人々の口の端にのぼりはじめたが 卒直なところ まだ海のものとも山のものとも判らぬ状態にある。

純技術的観点よりする評価と異なり ラインマイルや

第1表 AEMの方式別による発見新鉱床一覧表

年度	発見された鉱床(数字)はシステム名に対応	システム名
1950		
1951		
1952	Heath Steele(1)	
1953		
1954	Caribou (2), Clearwater (2), Middle River (2)	
1955	Stratmat (2)	
1956	Mattagami (2), Garon (2), Thompson (1)	
1957		
1958		
1959		
1960	Cupen (3)	
1961	Fox (2)	
1962	Jouet (4), Poirier (1)	
1963	Kidd Creek (5)	
1964		
1965		
1966		
1967		
1968	Uchi (6)	
1969	Sturgeon (6), Rutan (2)	
1970		

支出高による統計は需給関係の変動による影響をまともに受けてしまうけれども めまぐるしい外部環境の変せんにもめげず 一貫して年間100,000ラインマイル前後の仕事量を堅持するAEMの着実な歩みは 探鉱技術界におけるAEMの不動の存在を示すものといえよう。

さて各種のAEMが程度の差こそあれ 直接・間接に新規鉱床の発見に寄与してきた例は数多いが 統計の示すところでは 実施件数の差もさることながら AEMの輝かしい業績はほとんどがカナダと北欧に限られており 地域性の影響を最小限にとどめたい悲願にもかかわらず 適応性 汎用性の観点からは空中磁探を一步をゆずる現況にある。もちろん 技術としての性格も役割も 空中磁探とは根本的に異なるし いちいちの比較対照に別に意味があるわけではないが AEMがその最大の見出ししている金属鉱床探査の場合ですらも AEMを空中磁探と地上物探との中間に安直に位置づけするのは きわめて危険なことを暗示している。

第1表はAEMの各方式別に集計されたためばしい新鉱床の一覧表で 探鉱事業に常につきまとう賭博的要素を勘定に入れても 直接探鉱法としての赫々たる成功例は そうやたらにはないことが目を引く。

実際 AEMの総測線延長は たとえば1955—59年の間 カナダだけでも実に500,000ラインマイルに達しているのである。このうち "EM異常" としてプロットされたもの約100,000個 どうかや有意と判定されたものその1割の10,000個 これをさらにフルった3,000個を地上で follow-up し 試錐までこぎつけたのは1,000個ほどであった。そのなかで約800個は なんらかの形で硫化鉱体を掘り当てているから 経済的価値を有する鉱床と評価されたのは そのまた800個中のわずか17個にすぎないにしても これは仕方がないのであって 今の段階ではAEMは ここまで立派にその使命を果たしているといえる。むしろ ORにはじまる最新の組

織的探鉱技術の粋をつくしても 探鉱事業はかくも歩留りが悪い という肌寒い事実認識を新たにすべきであって 実際 裏返しにみれば55年以降 カナダで発見された19個の主要新鉱床のうち AEMが全然 貢献しなかったのはわずか2個にすぎず (Lang 1967) 欧米の探鉱関係者がAEMに寄せる信頼感は絶大なものがある。

なお 第1表に収められている諸例のうち AEMの声価をもっとも高からしめたのは カナダは Timmins地域の Kidd Creek (TGS) 鉱床(銅 銀 亜鉛)の発見であって その経済的価値は優に20億ドルを上回るとされた。ただ 殊勲に輝くこの Varian-TGSシステムはその翌年 不幸にも墜落事故を起こして クルー全員が死亡するという悲劇的な結末をまねき 以後 この種のAEM装置は二度と再建されることなく終わった。

好況を謳歌するAEMの現状を 調査活動の消長という面から以上に展望したけれども 明暗を分ける GEMとても ただ漫然と斜陽をかこっているわけではない 統計に表われたGEMの退潮は かつてのSP法のように全く信用を失墜して技術そのものが否定されかかっているのでは決してなく ただ近年 GEMが得意とする探査対象が少なかつただけのことで 外部的状況の変化によりいつでも息を吹き返す可能性は多分にある。それも他力本願的な需要の復活だけではなく あとでもふれるが年を追うごとに新生面を切り開いている技術革新の大波は これまで想像も及ばなかった分野にまで 電磁的手法に対する旺盛な需要を喚起しそうな気配すらうかがえる昨今である。

もっとも EM 磁気 放射能のように 空地双方で実用可能な方式では 特殊な場合をのぞき 技術的結晶はすべて空中探査の方に昇華しており GEM 単独の問題としてはせいぜい 機器の軽便化のほかは流電磁法で地形補正の問題などが AEM とは多少 異なった次元をもって時折検討される程度にすぎない。空中探査で開発された技術はハード・ソフト両面とも ほとんどが地上用にそのまま転用が可能であり 一方 その逆もまた可であって TURAIR にその典型をみる事ができる。したがって 空中探査に付随する独特の関連技術一たとえば位置標定 航法 高度測定などを当面 考慮の対象外におき 電磁法そのものだけに 照準を合わせればあえて AEM と GEM とを区別して論ずる必然性はあまりない。今のところ 空地間で feedback の利かない電磁法は MT法以外には見当たらないのである。だからAEMの隆盛にもかかわらず GEMに "かげり" をみせた前掲の数字のみをもって 電磁法全体の将来に悲観するのはあまりにも早計といえよう。再びさ

きほどの SEG 統計を引用すれば 研究開発への投資額では EM はむしろライバルの IP 法をすら凌駕している。この事実は 電磁法の技術としての未発達を意味するものではなく 電磁気現象を利用する分野がいかに奔放な夢と 明るい可能性に満ちあふれているかを示すものであって 探査関係者が電磁法に託す大きな期待を裏書きしてあまりあるものがある。

II-2 未踏の新天地—「比抵抗図幅」

全般的傾向の第二として かつ AEM のユーザー側からみた場合の最大のトピックとして AEM が mapping にもすぐれた適応性を有する事実が 広く認識されてきたことがあげられる。周知のとおり 探査関係者が AEM に寄せる期待は 発祥以来 一貫して base metal の直接探鉱—anomaly hunting—の武器としてであった。一方 1965年頃より それまでその除去に手を焼いてきたいわゆる “geologic noise” が 利用の仕方によってはむしろ 情報源とみなしうることが認められはじめ mapping への AEM の応用が声大にして叫ばれるようになってきた。この geologic noise と mapping との関係は 自然界にしばしばみられる可逆性の一例であって 物理探査というせまい領域に限っても たとえば 常時微動と地震探鉱 SP 地電流と比抵抗法といった 具合に手近な例を容易に想い出すことができる。

さて AEM における geologic noise と mapping との関係を やや特殊な側面から観察してみよう。三たび 1968年度の SEG 統計を参照すれば AEM 単独の作業量はカナダが 44,465 ラインマイルと群を抜いており 二位の中米 (5,100 ラインマイル) 以下を大きく引き離している反面 アフリカ オーストラリア 南米 アジアなどでは皆無となっている。EM/磁気の併用方式でも カナダが圧倒的な傾向は変わらず 一方 アフリカ ヨーロッパはかなりの作業量に達しているものの オーストラリア 南米は依然 零にとどまった。

これらの数字は さまざまな要因によって支配されており とくに目標鉱床と地質的環境の差異はもちろん 政治 経済姿勢の変動からも到底まぬかれることはできない。しかし ひとつの解釈として AEM が苦手とする巨視的な地域性をおのずから反映した結果 と考えることも可能である。すなわち AEM の調査活動があまり活発でないこれらの地域では かなりの部分が熱帯・亜熱帯に属し その乾燥性気候のため地下水面が比較的 低く 酸化作用が強い。したがって 地表面に近い硫化物は 金属の炭酸塩 珪酸塩鉱物などを残して溶脱され 酸化を免れた硫化物鉱床の賦存深度は 通常の

AEM では歯が立たない地表下 1,000 フィート前後の深部におよぶ。これだけならまだよいのだが さらに始末の悪いのは地表に近い風化層の塩分が高いため 比抵抗がせいぜい数 $\Omega\text{-m}$ の程度にすぎず いわゆる表皮深度を浅くし また 風化に強い石墨質岩石や蛇紋岩塊が本来の目標とする鉱体よりもずっと地表に近い “EM conductor” として無数に残っていることである。この種の比抵抗異常が geologic noise にほかならない。同様にして湖水 沼沢地 氷礫土 あるいは断層破碎帯など とにかくなんらかの比抵抗変化があれば なんらかの形で AEM のレスポンスは影響を受けてしまう。これらも一種の “EM 異常” にはちがいないが 当面の塊状金属鉱床探査には全く有害無益の存在となる。

この geologic noise のため かつて前記の諸地域で “強行” したいくつかの AEM では 異常がやたらに何百箇所も飛び出し 解釈がお手揚げとなる事態が生じて “not particularly successful” な結果に終わった。早くいえば失敗である。ここ数年来の VLF ブームの渦中にあっても カナダ物探界における最大手の一である Scintrex 社が せっかく手がけた DELTAIR システムを あっさり引込め さらに地上用をも含めて VLF 法全体に消極的 ないしは批判的なのは おそらく この時の火傷にこりてナマスを吹いているものであろう。のちに詳しく論ずるが VLF 法にはたしかにこの種の悪夢を再現しかねないだけの雰囲気が多分にある。しかしこの geologic noise たるや すべての探査技術に共通して存在するものであって 目的によっては どれもはまさしく八方手をつくして追い払いたい厄介物なのだが 名前の示す通り “instrumental noise” の類と異なって それなりに “地質的” 意味を有しており ただ 当面の目的一たとえば地下深所にある程度 切立った角度で胚胎し かつ相当の空間的規模を有する電氣的良導体の検出にじやまなだけの話である。だから geologic noise の “geologic” な面をうまく生かした探査目標—表層の導電率 (比抵抗) mapping さえ設定してやれば 毒変じて良薬となる過程は想像にかたくない。逆に mapping や浅部構造の調査に際しては 深部の塊状鉱床はむしろ妨害源となってしまう。

ついでながら この geologic noise こそは あらゆる物探技術の S/N 比改善への努力に立ちふさがる悪魔的存在であって いかにしてこれから逃れるかは 現今 計測面はもとより ソフト技術的にもわれわれが直面している最大の課題である。計測技術の進歩は 月 火星 否 はるか何十万光年のかなたより送られてくる微弱な

電波を受信し 想像を絶するほどかばそい信号を抽出してそこに大自然の神秘の解説を 可能ならしめるほどにいたった。しかし わずか数百mの地中からもどってきて振幅数ミリボルトにも達する“強力”な反応から有意義な情報を分離できない。この原因は一にかかって geologic noise が通常の電気通信工学で仮定される“白い雑音”として扱うことが許されないことから生ずる。それはわれわれが目標とする地質情報を提供すべき有用な信号ときわめて類似した性質をもつ。すなわち ある統計的性質を示すけれども 明らかにランダムではなく 地域によって大幅に異なった様相をしばしば呈する。周波数スペクトルでいえば 有用信号と一部または全部がオーバーラップしており ありきたりのフィルタをもってしては あまり効果がない場合が少なくない。

AEM ではシステム設計の段階で まず何とかこれをふるい分けられるよう苦心を払う。たとえば 同じ SLINGRAM タイプの AEM でも 固定ブーム式の方が 曳航バード式よりも geologic noise に強いとされ 送受両コイルの配列法によってもまた応答特性は異なってくる。それでも残った分については 解析の過程で弁別するのが常道である。通常 解析者が異常のパターンを仔細に吟味し 臭いとらんだ成分を除去してゆくののだが これがなかなか難しい。地震の反射法における広帯域録音と同じように detector に引っかかってくる入力を委細かまわず 洗いざらい磁気記録してしまいあとはデータ処理・解析の過程で何とかしようとする思想も一方にはあり 現に INPUT は巧まらずしてその一例となっているし 周波数領域でも多成分多周波数測定により実現できる。しかし これにも一長一短があり今のところ どちらが合理的ともいいきれない。

むしろ 徹底的に割切って 測定段階でそれぞれの目的にもっとも適した単能的な方式を 従前以上に幅広く組合わせてゆくのもたしかに一法であって 後記の Radio phase と E-phase とは同じ VLF 法のなかでうまく機能を分担させ 補完的役割をもたせたともいえる。どちらにしても これらの対策に一貫して流れている思想は 情報理論でいうところの“冗長度”の付加に突破口を求めるもので 問題の次元をさらに一段 エスカレートさせれば 究極的には近時 探査技術の理想像として話題の中心となっている かの integrated system につながってゆくものである。

ところで導電率の mapping であるが ごく荒いスケールとはいいいながらも 主として無線技術や送電工学の方面からの要請に応じて 若干の先進諸国—米国 (FINE

1954) カナダ (IRELAND 1961) オーストリア (FRITSCH 1963) ソ連 (KASHPROVSKIY 1963) などの地表導電率がほとんど 全土にわたって早くからカバーされていたのにはさすが としかいいようがない。日本でもようやく1969年 電気学会と電気通信学会が協同して本邦初の“日本の大地導電率”を編集し終わったのはよく知られているとおりである。

これらの導電率図幅は 地球科学の面からみても それなりに貴重な知見をもたらすものではあるけれども スケールが荒すぎてこれだけではまだ 直接の役にはあまり立たない。磁気・重力と並んで せめて25万分の1程度の縮尺で作成されるならば 地質的にもかなりのことがいえるはずである。しかも 図幅の調査ともなれば 能率から考えても断然 エアボーンに限る。“anomaly hunting”にほとんど限定されていた AEM を この種目的に活用しようとする動きは 近年 とくに米加両国においてとみに活発となってきた。

空中からの導電率(比抵抗)の mapping は 多くの関係者が長い間 抱いてきた夢であった。この分野で先導的役割を果たしたのは INPUT で しかも副産物として地下水探査への応用面まで率先して開拓した (COLLET 1965—第1図)。実際 地表における測定値との対応はみごとである。ただ 定量性に今一步の物足りなさがあったのは否めない。それは低次のチャンネルの等振幅値を連ねてコンタを画いたものにすぎず その程度ならば 他の方式—たとえば Hunting Cansoシステムなどが離相成分の応答を強引に等強度線図化したものと五十歩百歩 ともいえた。あとはわずかに AFMAG 法がその適応性をうたわれていたが あまり目立った成果を収めえないうちに 後発の VLF 法が俄然 この分野のホープとして 頭角を現わしてきたのである。

とくに曲りなりにも (とっては失礼に当るが) とにかくにも Ω -m の単位をもって 空中からする大地比抵抗の定量的表現に成功したのは VLF 法のなかの E-phase をもって嚆矢とする。それかあらぬか 最近の Barringer 社のセールスポイントは 同じ VLF 法中の先輩格である Radio phase よりも むしろ E-phase の方にもつぱら重点が向けられているかのように感じられるほどになってきた。

第2図に この E-phase による“みかけ比抵抗図”の一例をかかげておく。この調査はトロント北部で第四紀層の mapping と礫層の探査を目的としたものであり (1971年4月) 高比抵抗部は砂礫層 低比抵抗部は粘土 氷礫土などにそれぞれ 対応している。コン

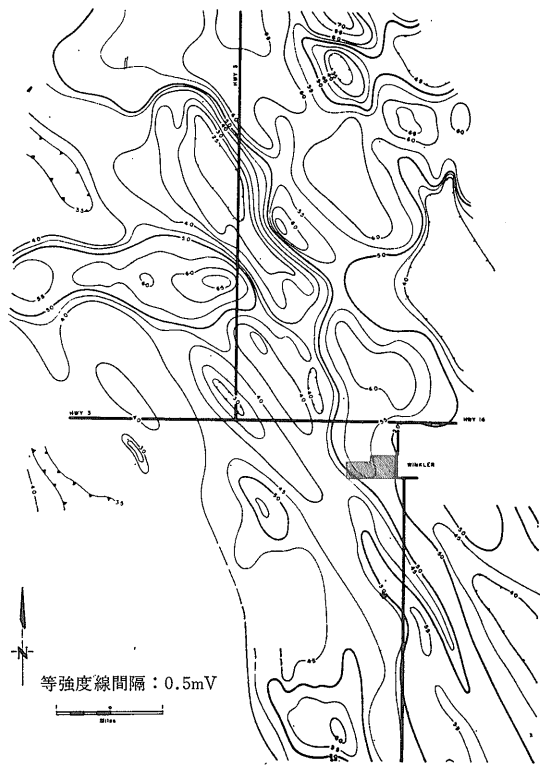
タ間隔は $100\Omega\text{-m}$ というから 相当の幅で厚さ数百フィートの範囲の表層の比抵抗が変化している様子が一目瞭然である。

ポーフィリィカッパーのような低品位鉱床と並んで従来 AEM が苦しい戦いを強いられてきたのは この種の砂礫 粘土 あるいは石灰岩などの bulk mineral と呼ばれる類の探査であった。その理由はいろいろあるが 結局 これらの対象がみな 比較的 高比抵抗を有するところに求められる。通常の AEM は本質的に周囲の絶縁性物質中に賦存する良導体の検出を目標として設計されているから これら不良導体に対する反応はどうしても鈍くならざるをえない。

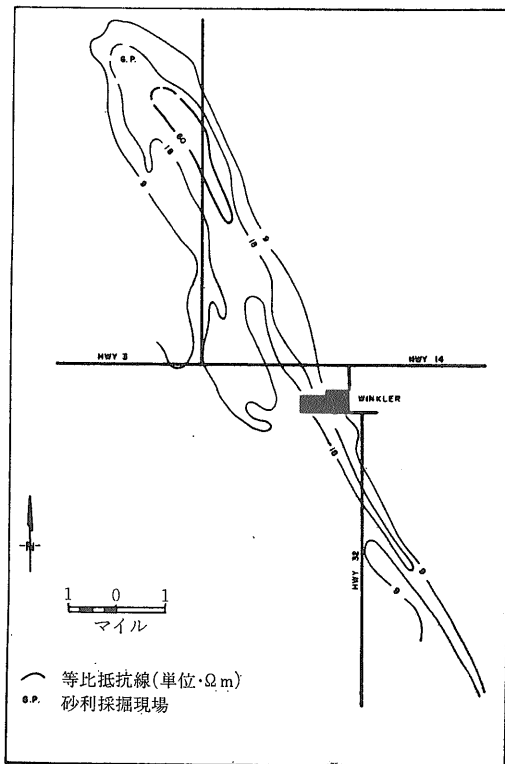
ところが E-phase は単に他動的に付与されているエネルギーを利用している というだけでなく この点でも通常の電磁法とは根本的に色合いの異なる特徴を有している。すなわち これは導電性物質よりはむしろ絶縁性物質の検出に適しており しかも たとえばダイクモデルのような垂直構造には弱い反面 水平方向への比抵抗変化にはすぐれた対応関係を示す。使用周波数が比較的高いから 対象が浅部に限られるのはやむをえないが レーダーのように全くの地表面だけではね返されることはなく 地表地質の mapping という目的には

さしあたり不足はない。要するに AEM の各システムにはおのずから 固有の守備範囲が大体 決まっているのである。

いろいろな岩石や鉱物をもつ導電率（比抵抗）の変動範囲を示す表やグラフは 教科書 ハンドブックの類によく出ているから あえてここに再掲する必要もあるまいが たとえば砂礫層が $1,000\sim 6,000\Omega\text{-m}$ の範囲にまたがっているのに対し 黄銅鉱 黄鉄鉱 方鉛鉱など代表的な金属鉱物の比抵抗は 変動の幅が大きいだけでなくこれら鉱物の比抵抗 必ずしも鉱体としてのそれにそのままは通じないけれども まず通常はこれより二 三ケタは低い。これだけの幅を一個のシステムでもれなくカバーし しかも検出能の劣化をきたさぬようにするのは無理な話で 普通 どうしても装置の特性をどちらかに片寄せて設計せざるをえない（同様の理屈が対象とする地下構造の姿勢についてもあてはまる）。この問題はいわゆるダイナミックレンジの一種とも考えられるが 粘土や石墨片岩などをのぞけば一般の岩石類はむしろ高比抵抗を示す部類に属するものが多く しかも断層 剪断帯などの構造的要素も 常識的には含有水分の影響で低比抵抗帯を形成するはずだが これが案外 周辺よ



第1図a INPUTによる比抵抗図幅



第1図b 地上電気探査(Wenner法)の結果

りも不良導体となっている場合も決して少なくはない。したがって mapping に適した AEM はこちらの方にも十分なレスポンスを有していなければならず E-phase 以外では INPUT だけが“高比抵抗物質検出”の特性を兼備していた。量的議論にたえうる比抵抗図幅の作成に INPUT が先駆しえたのも自然な成行きといえる。

以上 何となしに E-phase と INPUT のみを持ち上げてしまったけれども 他の方式の VLF 法はもちろん AFMAG をも含めて AEM のなかのかなりのシステムはいずれも 大なり小なり mapping に使える可能性を秘めている。しかし E-phase がここまできた以上 これからの mapping を標榜する AEM は なるべくなら結果を Ω -m で表現しうるものであって欲しいし 少なくとも最低限 広い範囲にわたって比抵抗分布に結びつけられるよう かなりの精密な間隔をもって結果を等強度線図化できるものでなければなるまい。

この mapping 技術が確立すれば AEM の応用面は途方もなく拡大してゆくことが予想される。大ゲサに言えば 探査技術界における第〇番目かの革命的転回点にさしかかったのではないか。まず 重力・磁気次ぐ物理量の国土基本図幅としての 政府関係機関による ぼう大な需要が待っている。何といても重力・磁気は測地学的・地球物理学的な面から かなりの密度と精度をもった各種図幅がこれまでも多量に作成され 今なお続々と生産されつつあるが 比抵抗図幅はこれらにくらべ 内外ともにはるかに多くが 未着手のまま残されているのが現状である。大地比抵抗分布を知ること

は 学術的ないしは資源探査的用途のみならず たとえば土木地質 あるいは長距離送電線の誘導障害の算定などにも役立つ。

次にはもちろん 本命として各種の金属・非金属（地下水をも含めて）鉱床探査への直接・間接的な手がかりとくに断層 剪断帯など構造上の知見に有益な情報をもたらすことが期待される。ただし mapping だけの目的で高価な飛行機を飛ばすなどは愚の骨頂で どうせやるからには少なくとも anomaly hunting に適した別種の AEM をもう一種と磁気・ガンマ線スペクトロメータぐらいは integrate すべきであろう。ついでに水銀スペクトロメータなどの空中地化探をも組込んだところで 経費上の増加は取るに足るまい。

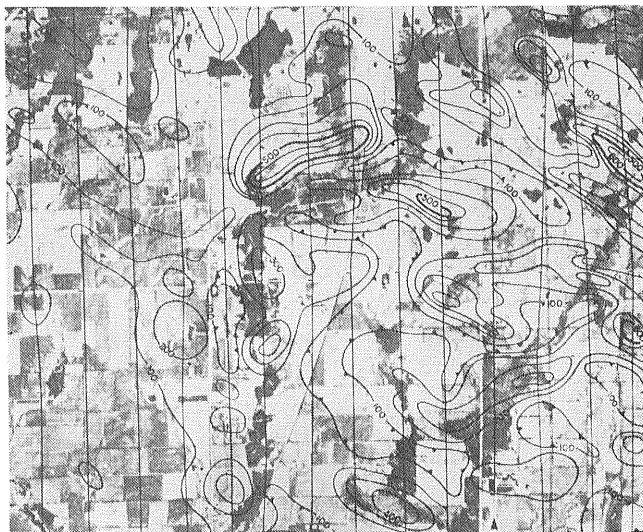
余談ながら 多角化によるリスクの分散と 情報量の相乗効果こそは かかる integrated system の最大の妙味といえよう。それも単なる個別的技術の寄せ集めでなく システム工学的に磨きあげた最適設計が成就されるならば その活躍は期して待つべきものがある。この新天地への躍動は すでに北米大陸において巨歩を踏み出されはじめただけでなく 先進諸国は先を争うがごとく進出を競っており たとえば西ドイツ地質調査所などは 最新鋭の装備一式を飛行機ぐるみ購入して広汎な調査活動を開始した。そして このintegrated system の旗手としての役割をに成るのは mapping と直接探鉱という両刃の剣を振りかざした AEM 以外にはない。

II-3 共通的技术展望

AEM の原理を判りやすく説明しようとする際によく引用されるのは GRANT and WEST の画いた第3図である。これに類似の“絵”は KELLER and FRISCHKNECHT (1966) の教科書をはじめ とくに民間諸企業の PR 資料や研修テキストなどにもしばしば出てくるけれども 私見ではこれが一番よくできており 図面中の各部が意味するところは自明であろう。

一次（送信）コイルから放射された電磁波が いわゆる電磁誘導現象によって地下の導電性物質中に渦電流を誘起し 導体中を流れるこの渦電流によって生ずる誘導磁場は いろいろな形でその導体の物理的性質や賦存の形態に依存するから これを二次（受信）コイルで測定すれば 導体の深度 傾斜角 導電率などある程度 推定できる道理である。誘導現象の応用がその骨子となっている点からみても この方法がおよそ空中探査にうってつけであることは容易に首肯されると思う。

実際には 各システムによって実にさまざまに変化し



第2図 E-Phase による比抵抗図幅

た形式をとるけれども 基本的にはすべて同図に盛られている内容にしたがっており たとえばみかけ上 一次送信源を欠いているかに見える VLF 法や AFMAG 法にしても はるか遠方にちゃんと送信源を有しており ただそれが自前でないというだけの話である。なおこの測定原理は とりもおさず 一次・二次両コイル間の相互インピーダンス変化の測定に帰着することは注意しておく必要がある。

ところで 同図中から電磁結合の模様を示す力線の表現をとりのぞき かつ 探査対象とする地下構造をさらに抽象的に絵画化すれば第4図となる。 一見 何の変哲もないが 1972年冒頭の WARD の論説に掲載されたこの図は 最近の電磁法をめぐる話題について はなはだ興味深い内容を含蓄深く暗示しているものである。

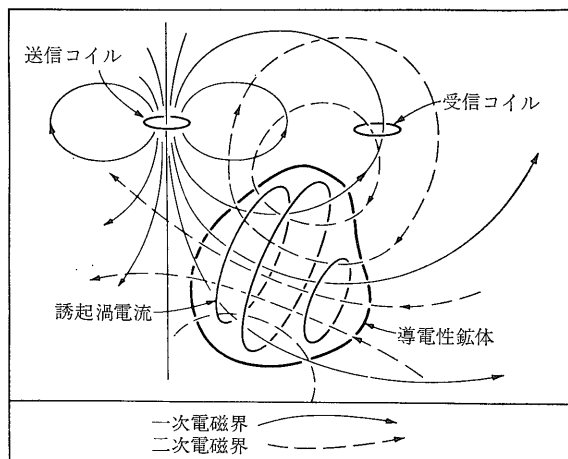
ほんの数年前まで 電磁法が地下モデルとして取扱ってきたのは極端に言えば 塊状の金属鉱体になぞらえた球とか 半無限薄板とかのキチンとした幾何学的形状の導電性物質が 真空中に浮かんでいる状態を想定したものがほとんどであった。 実際の地下がこんな簡単なものでないことぐらいは 現場で 研究室で 苦労している当事者自身がだれよりも身にしみて承知はしていたのだが 理論にせよ実験にせよ 電磁気現象は磁気 重力あるいは同じ電気探査仲間の比抵抗法などよりも格段に取扱いがむずかしく 複雑なモデルにはちょっと 手の下しようがなかったのに加えて 電磁法に課せられた使命が前記の通り “anomaly hunting” という言葉に集約されるごとく 目的意識としては単純に割り切れるものであった事情もその一因をなしていたと思われる。 それにしても こんな荒っぽいモデルでよくニケタに達する新鉱床が発見できたものだ と WARD 自身が感心しているが これは考えようであって 批判者側にまわれば だからこそ飛んでいる割には成功例が少ないのだとの見方もできるだろう。

このような “理想” モデルにあきたらず 解析理論の抜本的転換を望む声は60年代なかごろから徐々に高まりをみせはじめていたが ここ数年 VLF 法や MT 法のような斬新な技術が実用化されてきたのを契機として 目的とする地下構造を少しでも現実の姿に近づけ できるだけギャップを埋めようとする動きが急速に活発となってきたのである。

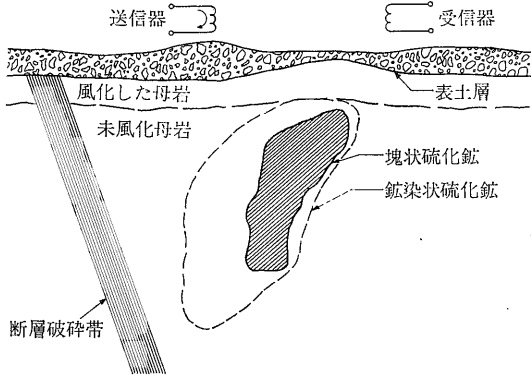
すなわち 欲をいえばもちろん 際限がないけれども 第5図に模式化されたところの “現実” モデルが言わんとしている内容は次の四点に要約される。 まず目標とする金属鉱床をなんらかの塊状体として近似するのはよ

いとしても 一般には品位の高い一例外も少なくないが一応は高導電率に通ずる一中心部は周辺の鉱染状の halo に包みこまれていることが多いはずだ。 したがってモデル的には導電率を異にする二重層的構造（球でいえば同心球殻モデル）として考えるべきである。

次に 鉱体上部には これまた異なる導電率を有するなんらかの表層（風化帯）に通常は覆われていると想定するのが自然だろう。 これはモデル的には 垂直的構造と水平的構造が混在している状態を意味するが 実用上 第一の場合以上に深刻な障害となっているから この影響の度合をせめて大まかにでも せひとも見当をつけておかねばならぬ。 一例をあげれば 表層が砂漠地帯のように絶縁性である場合 接地電極を必要とする比抵抗法や IP 法などでは 一次電流を効率よく流すのに苦労することがときどきあるが 誘導現象を利用する電磁法では これはさほど苦にはならない。 それはいいのだが逆に導電性表土の場合には 両者ともこれにマスクされて下方へはなかなかエネルギーが通りやすく 検出能力の低下は不可避となる。 とくにオーストラリア西部などでは mapping の項で述べたような導電性表土が地表の大部分を覆っており その上 最上部の数インチは乾燥し切った状態ときているから いわば二重苦を受けているようなもので ために一頃 この地域で盛んだったニッケル鉱床探査では IP EM とともに痛い目に会った。 これがカナダ楕状地では ニッケル鉱床は AEM がもっとも得意とする対象のひとつだったのである。 penetrability ひとつだけを取上げてみてもこの通りであって いわんや 異常曲線の微妙な振舞いに及ぼすであろう表土層の影響にいたっては 思い半ばにすぎたものがある。



第3図 電磁法の原理図 (GRANT & WEST による)



第4図 電磁法の“現実”モデル (WARDによる)

第三の問題として 目標鉄体のほか たとえば断層のような構造上 異質なものの混在が一般には当然 予測されるから 結果の解釈をよりの確なものたらしめるにはこのへんの影響をも解明しておかねばなるまい。

また第4図にはとくにおこまれていないし あえて電磁法に限った現象でもないが 表層 母岩 鉄体ともに厳密にはすべて 等質・等方性の仮定は成り立たぬものと承知すべきである。

一般に 少なくとも日本語で“電磁法”といえれば狭義には主として金属鉄床地域に適用されてきた「水平探査」的な手法を指す。最近でこそ mapping への活用が意識されてきたにせよ AEM への主たる期待が第4図のような すなわち垂直的構造を検出すべき水平探査としての役割である事情は今後とも変わるべくもない。まだほかにもたくさんあるが この方面における基礎面の研究は 近年 以上に総括した四つの方向から重点的に攻めてゆく基調が明白にうかがえる。このうち 第二の問題は 第一のモデルの外殻をひきはがして 水平方向にひろげた特殊な場合 とみなせるから 解析上 ほぼ同種の現象として取扱うことができる。

この分野で最初にすぐれた成果をあげたのは LOWRIE and WEST (1965) であって 垂直板状半無限体モデルについて行なった実験により 水平ループ法の応答はこのような導電性表土の存在によってそれを欠く場合よりも賦存深度と導電率が多少 大き目に解析される気味があり また AEM の記録にしばしばみられた負極性の異常の説明などにも成功した。

定性的には これでかなりの問題点をカバーしつつしたのであるが Negi が球と円柱モデルに対して行なった一連の理論研究 (1967 69) から提唱した “negative screening” なる現象が また騒然たる論議を呼び起こし

た。これはある特定の条件下では かかる導電性表土の存在によって目標鉄体はむしろ 検出しやすくなる場合が生ずるとの主張で 常識的には screen されてよいはずなのに 測定上 かえって有利と考えられることから “negative” と呼んだのである。しかし これを否定する反論も少なくなく 結論が出るまでにはまだ当分 時間がかかりそうな気配で 電磁法の理論がひとつの懸案を解決するまでには かくもきびしい試練を要するという見本ともいえよう。

ところで 電磁法のソフト技術の面にみられるもうひとつの注目すべき底流は 上記のような どちらかといえば基礎的な角度からの研究と並行して 現場と直結する実際のな解析法の定量化に指向されている努力である。

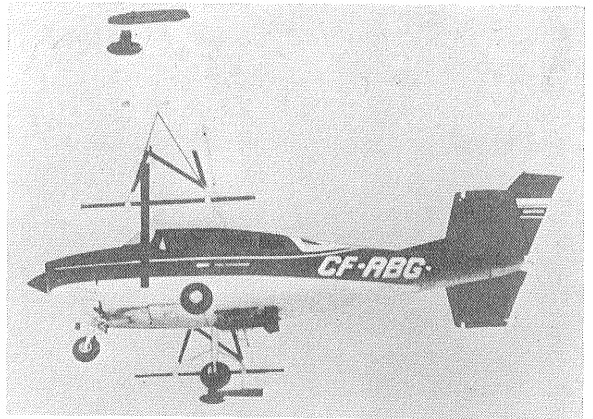
再三くり返すように 電磁法全般に対する要求が主として直接探鉄的な用途に集中してきたためもあって AEM の実用解析は従来 異常の面構えを主観的に判断して たとえば A B C……とか あるいは ①だの×だのといった類の記号をもって 有望性を格付けする定性ないしはせいぜい 半定量的な手法に大体は終始していた。ところが 一方には特に水平ループ法の応答特性に関してモデル実験によるぼう大なデータの蓄積があり比較的 容易に 成果をまとめ上げられるところから “学位論文の量産向テーマ” (PARASNIS 1971) とまで皮肉られている始末である。とりわけ half plane と呼ばれる半無限薄板モデルについては 簡単な一枚板はもちろん さまざまな姿態でさまざまな寸法の板が複数個並んでいる場合にいたるまで かなり微に入り細に入ったデータがとりそろえられている(たとえば KETOLA and PURANEN 1967 68—第5図)。

これらを整理して phasor (vector) diagram あるいは Argand diagram と称する曲線集を作成し 地下導体の埋没深度と “導電率・厚み積 (conductivity-thickness product, σt product)” までを推定する手順も 理屈の上からはとうに完成しており また実際上でもひんぱんに試みられてはきたが どうも解析結果の信頼度がいまひとつ 食足りない。まして σt 積からその片方を分離することなどは無暴のきわみ とさえいえた。これにはやむをえない事情もあるのであって 磁気・重力などに比し 電磁法の測定量ははるかに多くの要因によって支配されているから ちょっとした条件の変化によってレスポンスははなはだしく変動してしまい かかる精緻な解析技術の網にはなかなか引掛りにくいのである。また 二次元としての近似に限界があるのは 物理学すべてに共通した事柄ではあるが 金属鉄床の電磁法では

三次元モデルでなければだめだ とする意見も根深い (BOSSCHART 1964).

それやこれやで EM データの取扱いは 基礎面における高度な展開にもかかわらず 空中磁探などにくらべれば実用面に関する限り その質的内容においては 是るかに後塵を拝していたのである. 実際 電磁法の定量解析の効用に対しては 今なお 否定的ないしは懐疑的な専門家が とくに現場技術者の間に少なくない. それも不勉強からの白眼視なら論外だが 豊富な知識・経験と明敏な洞察力をもち あれこれ頑張ってみたあげく電磁法は定性解析に徹すべし との信念に到達した連中の意見だけに軽視は許されない.

ところが この雰囲気は最近また 大きく変貌するキザシが見えはじめてきた. モデル実験の比重が低下したとはいささかも思えない. だが燎原の火のごとく拡大する computerization の進展とともに “閉じた” 形での解法はもとより 数値解析ですらも至難とされてきた電磁気現象の複雑な諸問題—第4図に集約されたものをも含めて—が たとえば有限要素法のような新しい計算技術によって次々に解明されつつあり それが単に “of academic interest” な成果の積み上げにとどまらず直接 “鉱床さがし” の生々しいデータ処理に取入れられる風潮が強まってきた. この傾向はとりわけ 通常の比抵抗法とは反対に従来 金属鉱山における狭義の電磁法では 比較的 等閑視されてきた垂直探査の手法において顕著であり 前記の mapping 的用途に対する関心の増大とも相まって 今すぐにも現場で容易に使える形にまでつくり上げた標準曲線類の整備が これまでの様相を一変するほどに充実し これまた楽しみの多い一分野が形成されている.

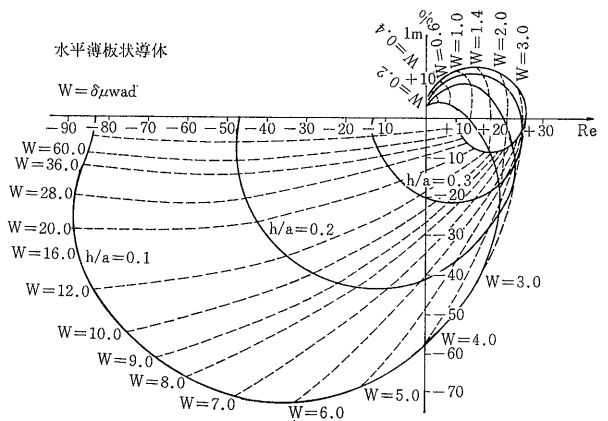
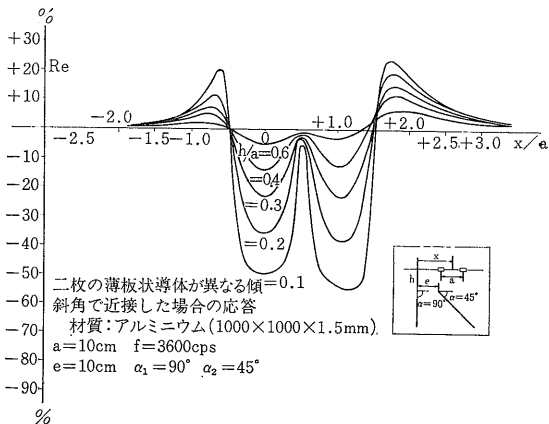


第6図 Button-on 型式の AEM の先駆者 McPHAR社の F-400 (翼下に見える棒状のものが送信アンテナ)

くが 前記のいくつかの例のように 等強度線図による表示をとる方式がしだいに増加する傾向もみられる. 広い地域をかなりの測線密度をもって組織的にカバーする以上 データのコンター化など 当然のこのようにも聞こえようが 電磁法では空地ともに必ずしも当り前の話ではなく 断面図をならべてする異常群の相関の “総合的検討” をもってすます場合の方がむしろ 一般的であった. mappingならばともかく 金属鉱床に対する直接探鉱法としてはこれで充分 とする考え方にもたしかに一理あるが たとえ定性的な考察—たとえばトレンドの伸びの追跡ひとつをとってみても 精度のよい解析を行なうためにはやはり コンターを画しておくにしくはない. 明らかに潮流は変わりつつある. 今一度 WARD の言を引用すれば AEM の世界は 現在 “art” が “science” によって取って代わられつつある過渡期なる由.

一方 これはむしろハードウェアの領域に近づいてゆ

一転してハードウェアに目を向けてみよう. よくハ



第5図 水平ループ法 (SLINGRAM) の標準曲線 (a) と Argand 図 (b) の例 (KETOLA and PURANEN による) (a) 二枚の半無限垂直薄板が異なる傾きで近接している場合 (b) 水平板の場合

ードとソフトは車の両輪とはいうけれども 無限の可能性を誇示しているソフトウエアにくらべ ハードウエアの直面している壁は厚い。 実際 各方式に共通したここ数年における進歩としては 「能動くし型フィルタ」や同期検出装置のようなハードの段階での信号検出技術と コンピュータ処理によるソフトのための入出力装置の改善にとどまった といっても過言ではない。

このうち後者に関しては DIGHEM が名前の示す通り デジタル化を大々的に標榜して売り出したものの少なくとも72年初頭の時点でも それ自身はすでにDIGHEM の占有物ではなく それどころか 小型コンピュータを機上に搭載してオンライン処理をする動きすらみられる。 ただ これは実用上 きわめて重要な問題ではあるにしても AEM だけに固有の問題としては多くはない。

また出力装置にしても 現在のグラフ 断面図 またはラインプリンタの類以外の飛躍的改良はとくに急がれてはおらず GEM にいたっては「野帳」が依然としてもっとも融通性に富む“記録計”である。 ただ 現場データのコンピュータによる自動解析の導入などが 空中磁探に比してもそれほどおくれをとっていないのは頼母しい。

これに対して前者は あくことなき S/N 比向上への要請から不断の進歩が求められる最優先課題ではあるけれども 現在では前記の geologic noise の方がよほど頭の痛い問題となって立ちふさがっている。

もっとも geologic noise といわゆるシステムノイズ（回路素子の熱雑音 マイクロフォニック雑音などによる測定器ノイズ+送電線 ラジオ放送などの人工雑音や雷などの自然源による外来雑音）とは ひとしく雑音という名前では呼ばれていても もともと全く異質なものその対策もおのずから根本的に異なってくる。

geologic noise を抑圧する定石は コイル間隔 周波数 コイル配列などの最適化した選択であるが これはシステム設計としてソフトの領域に近すぎ もっと根源にまでさかのぼれば そもそも調査計画時における担当者のソフト的思考に左右されるし ずっと後期の段階にいたれば データ処理・解析の過程でこれを弁別しようとする これまたソフトウエアの問題に帰着してしまう。 したがって geologic noise のことはしばらくおくとしても とにかくハードウエア関係の設計者には システムノイズをギリギリの線にまで押し下げることが至上命令で 可探深度の増大に直接 結びつくキメ手と

なるのであるが すでにあらん限りの手は打ちつくし ほぼ限界に達した感がある。

数年前までは「固定ブーム式」で5ないし10ppm前後「曳航バード式」では 約 1,000ppm（いずれも各方式を等価換算）が大体のいい線とされていたが 各システムともなお寸秒の改善に骨身を削っており 最新のニュースによれば たとえば Sander Geophysics のヘリコプタ AEM が気象条件にもよる同相成分で 2ppm 離相成分で 1ppm を達成し Barringer の HEM も 1~5ppm Scintrex の HEM-701 が 3ppm そして DIGHEM でも 2~4ppm のレベルが確保された旨 報じられている。 しかし 今後はよほど画期的な考案でもないかぎり それ以上の大幅な向上は考えにくい。 必要がないわけでは決してない。 すでに20年以上も前に 0.01mgal という充分以上の高い感度を実現した陸上重力計とか 航跡標定や飛行機の高度コントロール技術が追付いてゆけない空中磁力計などはまったく事情が異なるのである。

そこで残された手は シヤニムニ送信出力のパワーアップを図る“brute force solution”で 単純だが微弱信号を検出する上にはなはだ明快で かつ手取り早い。 ただ時間領域測定法以外の方式ではその割に効果があがらず しかもぐあいの悪いことに この大出力化は機器のなかでもっとも小型軽量化のやりにくい部分であるため 早晚 限界に突き当たざるをえない。

次に vehicle に関連して二 三。 周知の通りヘリコプタは固定翼に比し悪地形に強く コストは通常 やや割高となるが 調査地の地形によって vehicle を使い分ける基本線は今でも変わっていない。 ただ初期にはとくに小型のヘリコプタは payload が小さく 磁気測定などの併用はシコルスキー S55 のような大型機でないと困難とされてきたが 現在では Jet Ranger や Alouette II のようなガスタービンの強力な機種を用いて integration の傾向が盛んに進められており IC LSI の全面的導入をはじめとするエレクトロニクスの miniaturization 技術の進歩の賜である。

ところで AEM では 機体自身が電氣的良導體であることから起こる一次磁場の補償という面倒な問題がある。 ちょっと 問題の性質を異にするが 空中磁気探査でも似たような難点があり バードを曳航する場合はよいが 検出器が機体に近接するスティング型式では 機体磁気の影響を免れる工夫が必要であった。

また固定ブーム式の とくに同相成分は 一次・二次両コイル間隔の相対位置変化によってモロに変動するから 機械的に相当 安定したものでなければならない。この変位限界に対する要求はきわめて苛酷なもので たたとえば10mの原設計に対し実に1/3mmの変動しか許されぬほどである。この種の雑音は一括して前記の「測定器ノイズ」中に含まれるが「システムノイズ」のなかでは最大の難物であって AEM 20年の歴史とは要するにこの強敵との悪戦苦闘にほかならぬ とまで極言する人もいる。

したがって AEM で “button-on” とか “snap-on” とかうたっている型式は 単に装置一式が可搬性を有し手軽に据付けや取外しができるという以上に これらの技術的障壁に関しても十分な配慮がなされていることを意味し システムの総合性を評価する上にはなほ重要な特質である。この設計思想に最初に取り組み かつ現在でももっとも積極的に止揚しているのは これまたカナダの McPhar 社であって その400シリーズをはじめ KEM AF-4 など一連の製品中に具現し Cessna 180 とか Beaver のような 世界中どこでも容易に入手できる軽飛行機（ヘリコプタ）に適合するよう設計されている。しかし この概念は別に同社の独占するところではもとよりなく 今では比較的 装備の簡単なほかの諸方式 たたとえば EM-18 (Geonics) TURAIR (Scintrex) などもこれを表看板にかかげるシステムが増えてきた。

ユーザーとしては 本拠地から常に特定の vehicle に完備した装備一式を丸ごと 調査地へ積出すとはかぎらず 器材だけを送って vehicle は現地調達したい場合が結構あるから この button-on の AEM は非常に便利なものといえよう（第6図一翼下に送信アンテナ 胴体に受信コイルを格納したバードを抱えているのが見える。また翼端にあるのはプロトン磁力計のセンサ。飛行機は Cessna-TU206D）

最後にもうひとつ。これまた物理探査全般に共通した事柄ではあるが 測線計画の合理的な策定は古くて新しい永遠の課題である。今や古典的存在となった AGOCS (1955) SLICHTER (1955) の業績は著名であるが さて実地における具体的な立案に際しては その割に役に立ったともいいがたい。

1965年にいたり ソ連の SAVINSKII は統計理論的にこの問題に取り組んで詳細な数表を発表したが WARD は AEM にこれを巧みに応用して身近かな実例をもって示した。

彼は前記の Varian—TGS と Lockwood（もと Hunting Canso）の両方式について いろいろの長さの半無限垂直薄板に対応した楕円形の EM異常がランダムな走向をもって分布している場合を考え 発見確率の期待値とコストとの関係をプロットしたところ 両者ともほぼ75%の点にシャープな折目が生ずることを見出した。

換言すれば 走向の不明な長さ120~560mの細長い塊状金属鉱床群を目標として計画する場合 取逃しをさけるために測線パターンは密にとりたいたが さりとて測線延長はそのままコストに響いてくるし どこかに最適の妥協点があるはずである。上記の結果は測線間隔を節約する方は比較的なだらかにコストが減少してゆくが 欲張って75%以上の鉱床をもれなく捕捉しようとする と経費がいちじるしく割高となることを意味する。

しかもこの種の推論は 「固定ブーム式」と「艀バード式」の代表としての上記両方式のみでなく すべての AEM システムに一般化が可能であって 各システムに固有のパラメータより それぞれの企画担当者が満足しうる発見確率に対応したところの適切な測線密度が算出できるから 方式の選定にはじまり測線パターンの立案にいたるまで もって規範とすべき有力な指標が与えられたのである。ただし これはたしかに大きな前進ではあるけれども あくまでも探査能率という視点から考察したひとつの目安にすぎない。複雑多岐にわたる AEM の諸要因を分析 勘案し 真に最適のシステム設計を可能たらしめるにはまだまだ遠い道のりを歩まねばならないのであって 方式間の優劣に関する決定的な結論に到達するためには はるかに多面的に掘下げた検討を必要とする。

なお この点については いずれこの review の最終回でもう一度 立ち返るつもりだが かつてカナダ鉱山物探界を二分した 前記64年のはげしい応酬や さらにそれをさかのぼる59年 HEDSTRÖM and PARASNIS と PATERSONとの間に斗われて 今なお語り草となっている歴史的論争などのように あまりにも主観性の強い泥試合的論議にばかり明け暮れしていた訳では別になく 冷静に AEM の適応性と限界をみきわめてその総合評価を図ろうとする動きも着実に進められていることを付記しておく（たとえば SCHAUB 1961 62 PATERSON 71）

やや断片的にすぎたが AEM の基礎技術面に共通して流れている近年の全般的動向を以上に点描した。

はなやかな脚光をあびつつある立役者たちのそれぞれの実態については 次回以降にその個性ゆたかな横顔を鑑賞してゆくこととする（以下次号）（筆者は 物理探査部）



中生代の王者爬虫類

P. Q

1965年にポーランドで発行された 10枚1組の多色刷りの美しい大型切手である 約2億3千万年前から約6千3百万年前の間の中生代に 地球の空 陸 海を支配し 中生代末に絶滅した爬虫類の勇姿が画かれている 空をとんだものは Rhamphorhynchus (5.60zt) 全長60cm 大 陸をのしあるいたものは Edaphosaurus (20 GR) 約2億8千万年前の二疊紀初

期 Brontosaurus (40 GR) 全長18m 体重30トンで 地球上最大の陸棲脊椎動物 Stegosaurus (90 GR) のろまで武装している 剣竜 Stryacosaurus (1.35 zt) 有角恐竜 Corythosaurus (3.49 zt) 頭が火喰鳥のように肥大している Tyrannosaurus (6.50 zt) どうもうな肉食竜 水陸両用生活をしたものは Brachiosaurus (1.15 zt) 頭だけ水上にだしている 水中生活をしたものは Cryptocleidus (30 GR) 長頸竜 Mesosaurus (60 GR) 二疊紀初期