

# 固体地球科学のパラダイムと1990年代の新しい枠組 —MULTIER計画—

瀬野 徹 三<sup>1)</sup>

1950年代以降, 日本の固体地球科学は, いくつかの国際プロジェクトと, それらに提携して計画された国内のプロジェクトを通じて推進されてきた(第1図). それらは, 1950年代末のIGY(International Geophysical Year: 国際地球観測年)から始まり, 1960年代のUMP(Upper Mantle Project: 地球内部開発計画), 1970年代のGDP(Geodynamics Project: 国際地球内部ダイナミクス計画), 1980年代のDELP(Dynamics and Evolution of the Lithosphere Project: 国際リソスフェア探査開発計画)である. これらの計画は, 文部省の特別事業として予算化され, 他省庁の国立研究機関とタイアップしながら実施された.

それぞれの計画の背後には, それらの時代を反映した固体地球科学のパラダイムがあり, 計画の立案と実行はそれらのパラダイムにのっとって行なわれてきた. ただし, 日本の固体地球科学界がそれらのパラダイムを形成してきたというわけではない. むしろ常に時代の趨勢に遅れながら後を追う形でこれらの計画は実行されてきたというのが実情だろう.

IGYの頃には, “大陸移動”の直接的証拠が古地磁気学から提出され, ウェゲナーの大陸移動説が復活した. 過去の地球磁場が火成岩が冷え固まるときに記録され(熱残留磁気), それを測定すると過去の地磁気極は現在の極から大きくずれていた. 異なった大陸の色々な時代の古地磁気極を連ねた極移動曲線は, それぞれの大陸で固有の曲線をなすが, 形は大変良く似ている. これは, 実際に極が移動したのではなく, おのおの大陸が移動して見かけの極移動をもたらせたのである. 例えば北米をヨーロッパに対して大西洋を閉じるように回転運動させると; 両者の極移動曲線は一致してしまう. そして実際に大陸の方が移動したということは, それらの大陸に残された過去の気候の証拠が示す北極の位置が, 現在の北極ではなく古地磁気極に調和することから, わかる. これらの仕事をなしたのは, S. RUNCORN(イギリスの地球科学者たちであった. 日本は古地磁気学の伝統(京都大の松山基範や東大の永田 武と彼らの研究室)を持ちながら

| Japan's Projects of Solid Earth Science |                    |                 |             |       |
|---|--------------------|-----------------|-------------|-------|
| 1950's                                  | 1960s              | 1970s           | 1980s       | 1990s |
| IGY                                     | UMP                | GDP             | DELP        | ?     |
| continental drift                       | seafloor spreading | plate tectonics | lithosphere | ?     |

第1図 日本の固体地球科学分野の国際プロジェクト. 各プロジェクトの下にその時代の固体地球科学のパラダイムを示す.

ら, この分野に関しては寄与をなさなかった.

UMPの頃(60年代前期)には, “海洋底拡大”が, 海域で観測される地磁気縞模様から証明され, “大陸移動”説の証拠はより強固となった. 地磁気の極性は, 過去反転を繰り返して来た. 例えば240万年前から70万年前までは, 磁石の北は南をさして, この時代は松山逆極期と呼ばれている. このような地磁気の極性の反転は, 3億5千万年前の古生代石炭紀の初めから知られていて, 数十万年から数百万年に一度の割合で反転を繰り返してきた. この地磁気の反転が, 大洋中央海嶺で海底が拡がり, 新たに生産された海洋地殻の磁化鉱物を含んだ層に, あたかもテープレコーダによるが如く記録されていたのだ. この解釈は英国のF. J. VINEやD. H. MATTHEWS, カナダのL. W. MORLEYやT. WILSONらによってなされた.

60年代末には, “大陸移動”と“海洋底拡大”は, 地震活動分布, 発震機構, 海底地形, 重力, 熱流量の観測データと統合され, ついに“プレートテクトニクス理論”が登場する. これは“地球は, 厚さ100km程度の堅い, 何枚かの岩板で覆われていて, 地球表層で起きる変動はこの岩板が互いに接する境界で起きる”という理論である. この理論の創立に功績のあった, 米国のJ. MORGAN, 英国のD. P. MCKENZIE, フランスのX. LE

キーワード: パラダイム, プレートテクトニクス, 多圏間相互作用

1) 東京大学 地震研究所: 〒113 東京都文京区弥生1-1-1

PICHON の三博士は、今年4月日本国際賞を受賞した(本誌6月号参照)。彼らは主要なプレートを定義しそれらの最近地質時代の運動を決定したのである。その他にも、地震時に起きる変形様式がプレート運動から期待されるものと合致することを示した米国の L. R. SYKES や、地震活動、地震波の減衰、地震から推定される応力場等をプレートテクトニクスを用いて見事に解釈した米国の B. ISACKS, P. MOLNAR らが活躍した。日本では、既に30年代に和達清夫によって深発地震の面状分布が知られていたし、久野 久は50年代末に、島弧の玄武岩マグマの組成変化をマグマの発生深度が海溝からの距離に比例して大きくなるという考えによって説明していた。60年代後半には宇津徳治が地震波の減衰から日本列島の下に潜り込んだプレートを探り当てていた、等々、先駆的な仕事が行なわれていた。しかし、これらはプレートテクトニクスとして総合されるには至らなかった。

GDP の時代(70年代)は、プレートテクトニクスが各分野で適用され花咲いた時代である。上田誠也、杉村新、中村一明、松田時彦らにより日本列島の地学現象がプレートの沈み込みによって説明されたし、プレートの沈み込み帯である西太平洋地域では、東大海洋研究所の白鳳丸を含む色々な観測船を用いてフィリピン海や日本海などの縁海の海洋底の調査が盛んに行なわれ、縁海の生成発展史が編まれた。Glomar Challenger 号を用いた深海底の掘削も始まった。変成帯の岩石学と起源は、都城秋穂や坂野昇平らによって集大成された。地震学の分野では金森博雄とその弟子たちが、海溝で起きる巨大地震の発生過程を地震波の解析を手段として次々と明らかにしていった。また吉井敏尙は表面波の分散や重力を用いてプレートの厚さのプレートの年代に対する分布(すなわち年代が増えるに従ってプレートの厚さは増える)を明らかにするという先駆的な仕事を行なった。筆者はこの時代の後半(1975年)に大学院(東大地球物理竹内均研究室)へ進学したが、当時はまだプレートテクトニクスを応用することに人々が夢中になっており、革命期あとの熱気が感じられた。なお、筆者の最初の学問的仕事は、当時まだよく決まっていなかったフィリピン海プレートの運動を決定するということであった。相模湾でのフィリピン海プレートのユーラシアプレートに対する相対運動の速度は年3 cm である。これに安藤雅孝によって求められていた1923年関東地震時の両ブロックの食い違い量6 m を考え合わせると、即ち6 m を3 cm/yr で割ると、関東地震に開放された歪を蓄積するのに必要な年数、即ち関東地震の再来周期200年が得られる。実際大正関東地震の前の関東地震は1703年の元禄関東地震で、1923年の地震の220年前に起きている。ようやくこの時代にな

って日本列島付近の地震の生起がプレート運動に基づいて定量的に議論できるようになったことになる。

DELP の時代(80年代)に入ると、プレートテクトニクスは、より現実的な視点で研究され、その限界が追究されるようになる。プレートの実体とその力学的振る舞いが、様々な手法を用いて調べられた。大陸分裂の際のリフティング(大陸分裂に伴う地殻の裂け目の生成)の具体的な諸過程や、付加作用による島弧・大陸の形成過程、プレートの沈み込みによる火成作用の具体的モデルが明らかにされた。それらが資源探査に応用されたことも見逃せない。例えば大洋底や縁海の拡大軸付近では、深海まで潜れる潜水艇(例えば米国のアルビン号やフランスのノチール号)により熱水活動に伴う重金属鉱物鉱床が見つかった。(リソスフェア探査開発計画という naming は、そのあたりの事情を物語っている)。1984年からはじまった日仏 KAIKO 計画は、詳細な地球物理探査と、潜水艇による視察から日本付近の海溝の構造とプレートの沈み込み過程を明らかにした。地質調査所は白嶺丸を用いて日本付近の海底の地質構造の詳細を明らかにした。また科技厅を中心として、日仏共同で南太平洋の縁海のリフト系の調査も行なわれた。70年代の米国主導の国際深海掘削計画は、掘削船をより新しく Joides Resolution 号へ変えて80年代も引き続いて行なわれている。そして今年の3月 DELP 計画は終了し、90年代へと突入したわけである。

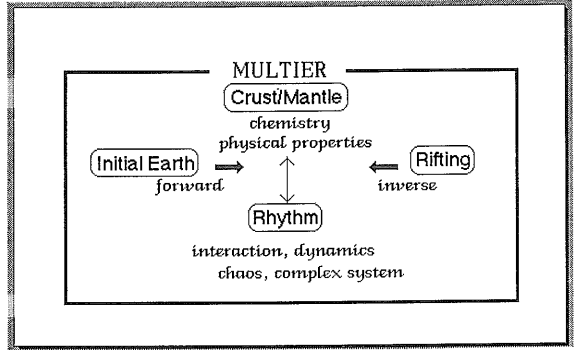
90年代はどのようなパラダイムが固体地球科学をリードするだろうか? 国際的にはリソスフェア計画(ILP, International Lithosphere Project)はさらに5年間継続されることになったが、思想(パラダイム)としてリソスフェア計画が続くことはあり得ない。固体地球科学関連では、すでに科研費(重点研究)を用いた“地球中心核”研究計画が今年度から始まっている。これは国際的には SEDI (Study of Earth's Deep Interior) と対応している。この計画は、近年、世界をとりまく地震計観測網の良質なデータを用いて地球内部の地震波速度の不均質性が明らかにされてきたこと(地震波トモグラフィと呼ばれる)や高温高圧実験、マンテル対流の数値実験が進歩したことなどに刺激を受けて、地球深部の、特に核-マンテル境界付近の研究が急速に地球科学研究者の興味を引き初めたことによっている。日本の計画では地球中心にある核(半径約3,500kmで、流体の外核と固体の内核からなる)に焦点を絞っている。しかしマンテルや地表付近で観測される現象を理解するのに核の研究だけでは十分ではないことは明らかである。また、アジア・太平洋超高性能地震観測網(“ポセイドン”計画)や深部ポーリング等の計画も準備段階にある。しかし、これらは観測手段主体の計画

であり、今後約10年の間のパラダイムを与える性格の計画ではない。

ILP が延長される以上この計画に参加してきた日本は引き続き参加を要請される。そこで DELP の終了数年前から、DELP の後に来るべき計画の立案が学術会議 DELP 専門委員会のもと post-DELP 計画検討小委員会で行なわれた。そこでの多くの議論を踏まえたうえで1989年秋、地球全体を外部環境まで含めて扱う MULTIER (Multisphere Interaction Evolution and Rhythm: 地球多圏間相互作用) が90年代のプロジェクトとして提案された。これは ILP 対応の日本の国内計画であるから、引き続き学術会議 DELP 専門委員会がその実行をつかさどる。MULTIER への移行に伴って、委員長は秋本俊一から上田誠也へ、幹事は河野長から瀬野徹三へ交替した。MULTIER は今年度より文部省科研費および海外学術調査費を用いて一部が実行されはじめた。現在のところ参加機関は DELP と違い、科研費という性格上大学中心となっているが他の国立研究機関の研究者の参加を拒むものではなく、その協力は必須である。

MULTIER では、地球をシステムとしてとらえ、地表、地殻・リソスフェア、リソスフェアより下のマントル、核ら地球各層がいかに相互作用して来たか、また外界(太陽系、銀河系)といかに相互作用をしているかその進化過程を明らかにしようとする。時間的には、地球の生成から現在まで(あるいは未来も?)を含む。このような視点が可能になったのは、最近の地球物理的観測手段の目ざましい進展、例えば全世界的高性能地震計観測網、超伝導重力計、VLBI(超長基線干渉計)などの開発に伴って、地球内部の物理状態や運動が見え出して来たことによる。また地球の生まれたばかりの時代の様子が、野外地質調査、理論的・実験的考察の進展から、具体的にわかりだして来たことにもよる。プレートテクトニクスは、地表から約50-100kmの厚さを持つ硬い熱境界層のみで、主要な地表付近の変動現象(地震、地殻変動、火成・変成作用、島弧・大陸形成、鉱床生成)を解釈しようという趣旨であるが、いよいよその時代は終わろうとしているのである。新しい90年代以降のパラダイムは、地球全体を取り扱うものであり、地表面での生物圏と、地球内外各層との相互作用も視点に入ってくる。従って、今年から実施され始める IGBP (International Geosphere Biosphere Project: 地球圏-生物圏国際協同研究計画)とも密接に関係を保ちながら実行されねばならないだろう。

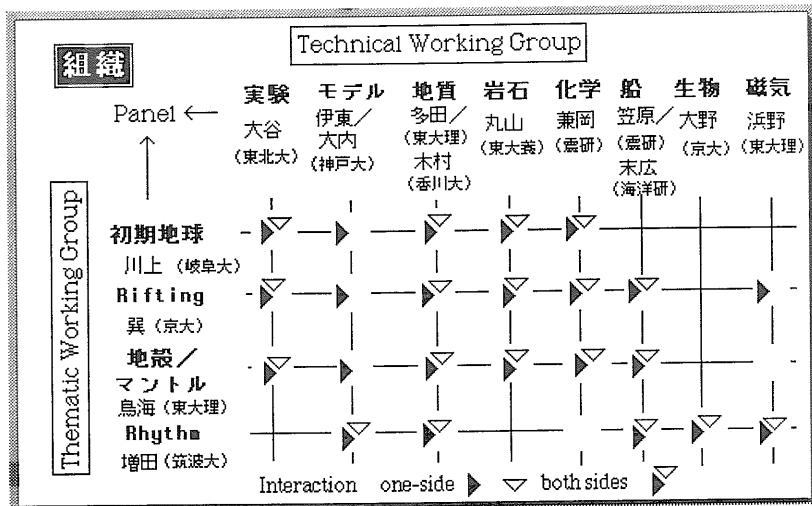
具体的に MULTIER で取り上げるのは、“リフティング”、“地殻/マントル”、“初期地球”、“リズム”四つの課題である(第2図)。“リフティング”では大陸分裂から海洋底拡大に至るまでのプロセスの原動力を地球深部



第2図 MULTIER の4つの課題とそれらが持つ象徴的意味。

ダイナミクスの視点から捕えようとする。沈み込んだプレートと下部マントルとの相互作用が、またホットスポットとの相互作用が、この問題を解く鍵となる。 “地殻/マントル”では、最近の高温高圧実験や数値実験に基づいて地球のレオロジーが詳しく明らかにされ、それらのリフティングやプレートの下部マントルへの沈み込みに果たす役割が追究される。“初期地球”では、地球生成時の層構造への進化、海洋、大気、生成、初期地球の表層でのテクトニクスが、高圧実験、モデル実験、野外地質調査を通じて明らかにされる。“リズム”では、地球進化の周期的、準周期的、カオス的変化が最近発展した非線形力学や統計学的手法を用いて解析される。これらに加えて各々の課題は以下のような象徴的意味を持っている(第2図)。初期地球は、過去から現在へ向かって演繹する forward modeling, リフティングは、現在から過去へ遡る inverse method, という二つの代表的な研究方法を示し、地殻/マントルは、地球という対象の物質的側面、リズムはそのシステムとしての側面を表している。MULTIER の構成は以上のような課題による分類の他、研究手段によるグループ化も行なっている。第3図に各パネルの世話人を示す。

しかしながら、実を言うと上記四つの課題はすべて80年代に break through がなされた分野である。リフティングの研究は、非活動的縁辺域の堆積盆と Basin and Range 地域の研究を中心としてその地質学的実体の究明が進んだし、理論的にも現実的な力学的性質を持ったプレートを引き伸ばした時どうなるかという問題として、色々な場合に即して解かれていった。地殻/マントルのレオロジーの研究とダイナミクスに対する応用も盛んになされてきている。これらの分野は主として欧米の学者の活躍に負うところが大きい。“初期地球”は、DELP の課題の一つ“リソスフェアの形成と進化”の惑星科学と高温高圧実験からのアプローチによって進展させられた部分も大きい。これは日本の地球科学者の寄与



第3図  
MULTIER の組織図. 各パネルの下に世話人を示す.

として誇れる分野である。“リズム”については、関連ある多くの分野、例えば気候変動、海面変動、地球回転、生物の絶滅、地磁気の変化は主として欧米の学者によって発展させられた。理論面での break through 非線形力学—フラクタル/カオス—もそうであった。

もちろん以上に挙げた4つの課題のもとに今後なされなければならない仕事は多い。これらの課題の追究から新しい発展が生まれてくることも期待できないわけではない。しかし真に憂うべきは、過去のパラダイムを振り返ってみてわかるように、日本の固体地球科学者が新しい学問分野の発展に寄与することがあまりにも少なかったという現実である。日本人に独創性が欠けるとは思われない。むしろ科学を遂行するプロセスの問題である

う。MULTIER の本当のねらいは、そのような状況を少しでも改善することにある。そこでは(4つの課題にとられることなく)中身が空白である一つの枠組みを提供し、この枠組みの中では、固体地球科学者は独自に、かつ自由に自分達の研究を創造しようとしようというわけだ。この MULTIER を枠組として、新しい地球観が日本の、特に若い地球科学者から作り出されることを期待したい (MULTIER 関係の事務連絡は東大地震研究所 瀬野徹三あるいは各パネルの世話人へ)。

SENO Tetsuzo (1990): Paradigms of solid earth sciences in Japan and the new project MULTIER in 1990's.

<受付: 1990年9月19日>