

debate about the Earth

Copyright ©1968 American Geological Institute

地球に関する論争

翻訳にあたって

私たちの手が 隕石や宇宙塵のように住所不明の外來物でなく 月といわれつきとした所からの宇宙の物にふれられるようになった。身近かな「海」も今や「新しい海」に変わりつつあるといわれる。ある1つの問題に限っても 賛否両論が相克しながら たくさんの研究が進められていて これらが おびただしい情報の波となって 私たちの目 耳 頭のなかにはいやおうなく やたらに飛び込んでくる。なかでも 海底資源開発をめぐる話題は とくに高い関心をよんでいる。また 大洋をなす七つの海がどのようにして生まれたか という地味な問題も海底資源と無関係ではなく 地質学を学ぶものにとって 注目したい命題の1つであろう。そこで大洋の成因を考察した大洋底拡大説をめぐる論争をここに紹介することにした。

この論争は *Geotimes* vol. 13 no. 10 p. 10~22 (December 1968) に掲載されたもので *Geotimes* の W. Cochram 編集長と Wilson 教授の許可をえてここにその論争を日本語訳として再録できることとなった。両氏に厚くお礼申しあげる。

論争の発端となった論文はウイルソン教授によって書かれた。彼は地球物理学者で マスコミにたいへんな売れっ子といわれ かってアメリカ合衆国のある大都会において新聞社主催の講演会で話をした時 たいへんな数の人を集め魅了したうえ 満員の会場には犬まで入り込んだほどのもて方だったというエピソードが伝えられている。竹内・上田 (1964 p. 238) はこの人について「カナダ トロント大学のウイルソン教授は かっては 地球収縮説の大家であった人だが 数年前に突然地球膨脹説を支持して世を驚かせたことがある。そのウイルソン教授は ここ1年ばかり またもや その所説を豹変して 熱烈な大陸移動論者になって 再び話題をまいている」とのべている。ウイルソン教授は1936年 Princeton 大学で学位をとり 1966年には物理学部地球科学研究所長になっている。カリキュラムのなかに 同位体地質学・Tectonophysics・地球の物理など

J. Tuzo ウイルソン: V. V. ベロウソフ

服部 仁

がとり入れられているのも興味深い。他方 この大学の地質学教室には *Physical Geochemistry* (1963) や *Geologic Data Processing* (1966) をあらわした F. G. Smith 教授がいて いわゆる地質学近代化の推進役を果たしているように見える。

論争をいどんだベロウソフ博士は ソ連科学アカデミー地球物理学研究所の重鎮 すでに日本にはおなじみの方で 何度か日本を訪ねし各地で講演をされている。また 大著「構造地質学」は邦訳されている。

この論争の主題について さらに詳しく知りたい方は 終わりの方にまとめておいた出版物のリストを参考にして 適当な本を見ていただきたい (国外のものではこの論争中の参考文献の他に *Geophysical Monograph* の単行本にたくさんの論文がでており 最新の知見が入手できる)。

A revolution in earth science

地球科学における革命

(Geotimes 編集者)

近年大陸移動の仮説が たいへんたくさんの地球科学者に支持されるようになってきた。実際 多くの人はこの仮説が1つの理論の段階に到達したと信じている。さらに 次の数ページでウイルソン博士が説明しているように 地質学にもたらすその意義は かっていくつかの大陸が単一の地塊をなしていたか否か という1つの疑問よりもはるかに大きいのである。

この論文は 最初オタワで開催されたカナダ鉱山学冶金学協会 Canadian Institute of Mining & Metallurgy 1967年年会に提出された。その後論文はカナダ鉱山学冶金学雑誌 *Canadian Mining & Metallurgical Bulletin* 1968年2月号に印刷された。そしてその出版が17ページに始まる V. V. Belousov の公開質問状に発展したのである。その手紙の文脈を分かりやすくするため ウイルソン博士と雑誌の編集者は *Geotimes* にリプリントするよう許可した。ウイルソン博士の回答も加え

これらを地球に関する論争としてここに出版することになった。

J. Tuzo Wilson

トロント大学 Erindale College 学長

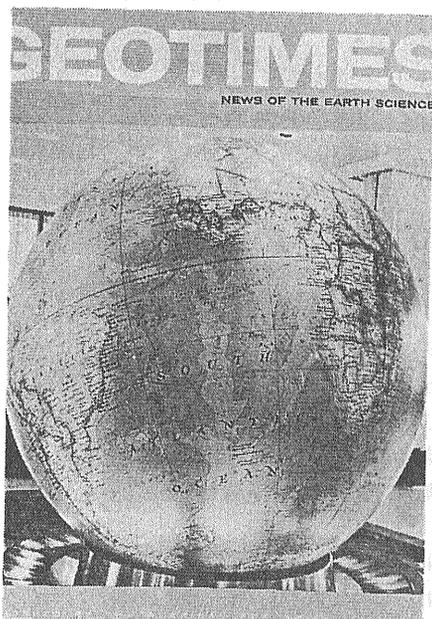
いつのときでも このカナダ鉱山学冶金学協会に招かれて講演するのは私のたいへんな喜びであります。 というのも この協会は 私が40年間にわたって楽しくたとえ中核的でなかったとしても 仕事をともにしてきた産業界と人々を代表しているからです。 今回講演するのはまた格別の喜びです なぜならば 重要な課題がもちあがっており この問題をこれから討論してみたいからです。

この問題は地球科学における1つの大発見であり 最初1966—67年の冬に十分明らかになり もうすでに広く受け入れられています。 この革命の基礎は いうまでもなく 地球に関する3つの異なる測定値が全く同じ比で変化するという点にあります。 3つの比は 世界のどの場所でも全く同じです。 だから あるセットより得た結果をみて 世界のどの場所のどんなセットについても正確な数値予報を行なうことができます。 これまで 地質学や一部の地球物理学において このように正確な対比や予報が行なわれたことはありません。 地球科学 (earth science) 全体の問題はそのことによって完全に変わってしまったのです。



J. Tuzo ウィルソン教授の近影 (Ballard; Jarrett 撮影トロント大学情報部提供)

これらの測定の第1は 溶岩流のなかの磁極の方向の測定であります。 何枚かの若い溶岩をポケットコンパスで調べてみると ある溶岩流は地球磁場の方向に帯磁していたり また別のものは逆方向になっています (図1)。 たくさんの溶岩流について正確な時代測定を行



Geotimes 1968年12月号の表紙
ワシントン市のアメリカ地理学会本部に展示されている直径12フィートの地球儀 南大西洋の海底地形を示す

TIME (YEARS)	PILE OF LAVA FLOWS	DIRECTION OF MAGNETIZATION
PRESENT	N N N N	NORMAL
700,000	N N	REVERSED
850,000	N R R	NORMAL
950,000	R R R R	REVERSED
1,800,000	N N N	NORMAL
2,000,000	N R R R	REVERSED
2,400,000	N N N	NORMAL
3,000,000	N R R	REVERSED
3,100,000	N N N	NORMAL
3,400,000	N R R R	REVERSED

図1 何枚も積み重なった溶岩流の図 ある時期に溶岩流は現在と同じ方位に帯磁したが 別の時期には磁極が逆転していることを示している。

なったことにより 地球磁場逆転の時期に関する1つの時間スケールが確立しました。過去400万年の間に9回の逆転が世界中で同時に起こっています(Cox; Dalrymple; Doell 1967; McDougall; Chamalaun 1966)。この時間スケールは先カンブリア時代にさかのぼって延長することができそうです(McMahon; Strangway 1967)。この時間スケールが3種類の一致する比のまず最初のものです。

第2の測定は 海盆(ocean basins)上で観察された地磁気の異常分布が くりかえし現われるその幅の比です。1956年 Heezen; Ewing (1963) は世界的規模の大洋中央海嶺(mid-ocean ridges)の存在を考えました。彼らの協同研究者たちは まもなく 地磁気の異常がこれらの海嶺の峰に平行する細長い地域に生ずることを示しました。Vine; Matthews (1963) が予言したり また Vine; Wilson (1965) が明示したように 連続して現われる異常分布の幅は 地球磁場の逆転の時間的間隔と同じであったのです。Heirtzler ほか(1966)と Vine (1966) が示したのは 絶対的な幅は場所ごとに異なるけれど 幅の比はどこでも一定であるという点です。これが3種類の一致する比の第2点です。

第3の測定は Opdyke と協同研究者たち(1966)が深海底コアについて行なったものです。彼らは1本の深海コアのなかからとびとびに取り出した試料について 微弱な帯磁の方向が測定できることを発見しました。この帯磁の方向は 現在の地球磁場に平行する場合とちょうど逆転する場合とがあります。ひきつづいて逆転の現われる深さは どのコアについても一定比になっています。これが一致した比の第3点です。

新しい革命の真髄は 3つの独立した測定値の比が このように一致している点にあります。これらの実証された一致はあまりにもみごとなので とても偶然によるとはいえませんし またたいへんきわだったものともいえます。なぜならば 1つの測定は何100万年単位の時間 他の1つの測定は何100km単位の水平距離 そしてさらにもう1つの測定はcm単位の垂直距離で表わされるからです。

Opdyke の発見に都合のよい唯一の説明は 地球磁場が逆転したりしてそれが海底に均等につもった岩に焼きつけられる ということです。

もし 地球磁場が既知の時間スケールで逆転し、そしてそのスケールが距離として再現できれば 相互関係は速度の形をとるにちがひありません。この関係から

大洋底が大洋中央海嶺沿いに発生していること 形成と同時に帯磁が刻印されること および均一な速度で海嶺から遠去っていること がわかります。これこそ Vine; Matthews (1963) および別個に Morley; Laroche (1964) が発展させた理論なのです。それは Holmes (1928—29) に始まり のちに Hess (1962) によって修正された対流仮説の進展であって さらに Dietz (1966) が大洋底を移動するベルトコンベアー系になぞらえています。

この理論が過去のどの仮説ともちがっている点は その精度にあります。たとえば パンクーバー Vancouver 島沖の海底地磁気図に適用してみると 任意に選んだ一地点について 次のように解釈できます。北緯47°15′ 西経130°において 海底はN72°Wの向きに年6センチメートルの割合で アメリカ合衆国海岸から離れている と計算されます。この割合は数100万年の間不変であって その周辺地域からドレッジした岩石試料は2.0と2.5×100万年の間に噴出したものにちがひなく また現在の地球磁場方向とちょうど正反対に平均帯磁していなければなりません。この情報は Raff; Mason (1961) の図版1から読みとったものです。

地磁気調査が次第に拡大されてくると 上にのべたように 大洋底のどの地点についても 正確な所説をのべることができるように思われます。そのような予報はチェックできますし また実際行なわれています。これまでのべてきたことから この理論があきらかに満足できるものといえます。だから もし この理論がこのまま生き永らえるならば 地球科学は新時代に入ったことになりましょう。

地表を動かすことのできるメカニズムには 大洋中央海嶺から上方への噴出 upwelling と 外側への流動とが考えられます(図2)。この作用によって 地球表層部の巨大な切片が離ればなれに広がってゆくのです。これらの巨大な切片は プラスチック状の白熱マントル内において 一年2〜3センチメートルの割合をもった流れによって 運ばれているようです。融点曲線 氷床融解後のアイソスタシー復帰 および地震波伝播 に基づく推算是 プラスチック状の岩流圏 asthenosphere が深度およそ50キロメートルから始まること とうまく合います。この岩流圏の上には かなり冷く またこわれやすい岩石圏があり マントル最上部の一部と 山脈の深い根底部を除いた地殻全体を含んでいます(図3)。

ある場所における上方への噴出と側方への伸長運動 extension は 別の場所における下方への流動と圧縮の

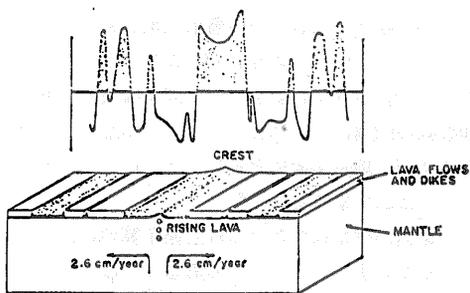


図2 上方噴出と逆帯磁のパターン 地磁気異常帯が大
洋中央海嶺から大洋底の拡大によって生まれること
を うまく信じさせる

動きにうまく調和します。 岩石圏の切片はともに押し込められ 一方は他方の上に重ね合い 若い山脈の下方や深海溝の下に押し下げられて 再吸収されていきますたとえば チリ 日本 あるいは アレウト列島 Aleutians (Coats 1961).

この理論は大陸移動 continental drift 説の一形式であっても ウェゲナー Wegener の意見と同じというわけではありません。 というのは 彼は 各大陸について大洋底を通して移動するイカダを思い浮べたのですが現在の考え方は 氷の中に凍結した丸太が大洋底に沿って運ばれてゆくような状態の大陸を描いているのです。 Elsasser (1966) Orowan (1964) および Tozer (1965) はこの理論を吟味して 浅い層においては対流は物理学的に認められることを見出しています。

この理論は そのうえ 大陸移動にとって好都合なたくさんの観察事項をうまく説明します。 これらの観察事項には 古気候や古地磁気の証拠 大西洋の両岸がうまく合致すること 大洋中央海嶺から次第に遠ざると 島やコアの年令が古くなること 新区分のトランスフォーム断層 transform fault (大洋中央海嶺を横切る断層にみられる一種の横ずれ断層であるが 両端が急に終わっていて 大きな変形を伴わない断層のこと。 Wilson (1965) の定義) が大洋底の拡大や吸収される地殻の図形模様によく合うとの提唱 (Wilson 1965) や Skyes (1967) が明示したように大洋中央海嶺における地震がその理論に要求される運動方向をもつこと さらにまた Blackett; Bullard Runcorn (1965) Runcorn (1962) および Munyan (1964) によって総括されたような他の理由が含まれています。

地球科学におよぼす影響

異なった観測事項の間に 正確で 世界的規模のいく

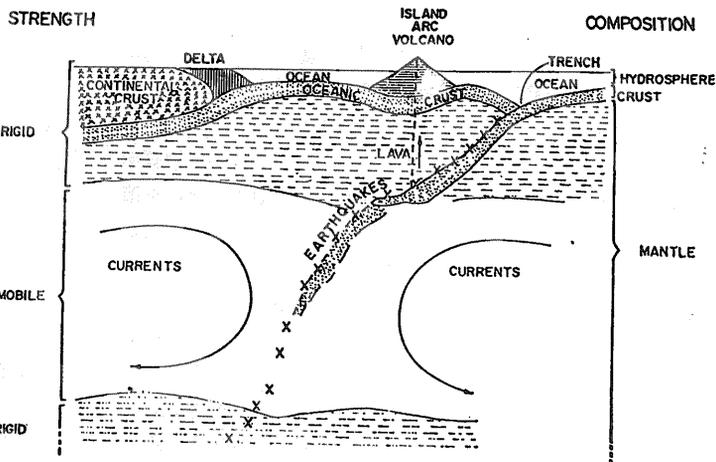


図3 大洋地殻が島弧の凸面側の海溝に向かって再吸収されてゆく図

つかの合致をみたことが 地球科学に重大な影響を与えるであろうことはきわめて明白です。 この影響がどのようなものであるかを理解するために 一般の科学分野における進歩の挙動を考えてみましょう。

四つの段階があります。 データの収集 的確な理論の発見 予報への利用 そしてこれらの予測のチェックです。 このサイクルの繰り返しが しばしば一層改良された理論へ導くこととなります。

地球があまりにも複雑なためうんと詳しく研究されねばならない ということが地球科学の難点になっていたため この地球科学は第1段階より決して先に進まなかったのです。 地質学者も固体地球の地球物理学者もデータを蓄積するけれど 予報を出すための良い理論をもちあわせていないため 蓄積データの利用は限られていました。 試掘者は鉱石の産状を予測するのに何が必要であるかということや 予測のむずかしさをきわめてよく知っています。

学者たちの持っているデータが不適當で 的確な理論を導き出せなかった。 そのため 科学的方法における強大な要素であるはずの予報すること そのアイディア自体が 地質学者の間で評判を落してしまいました。 その代り 彼らは観測報告や技法の改良をたいへんうまく行ないました。 すなわち 彼らは他の分野の研究よりも自分自身のこれまでの研究分野 (古生物学 鉱物学 岩石学 地球化学 構造地質学 地形学など) のなかで一層精密な測定をおし進めることによって この改良を行なうようになりました。 とくに 大部分の地球物理学的課題は伝統的な物理学者によって研究されてきています。 2つのグループの大部分の学者たちが あまりにも 技法やデータ収集に没頭してきたので 原理の探

究は無視されてしまったのです。どちらのグループも地球の挙動について満足のゆく理論を見付けませんでした。地質学者の概念は実際の地球に適用されたもののあまりにも漠然としておりました。他方地球物理学者のアイディアは比較的精密もなものでしたが地質学の一般的知識を欠くために単純化しすぎたモデルを適用してしまい地球へうまく類似させることができませんでした。

ここに述べている革命的な理論の発展は両グループの学者たちの研究成果に依存してきました。その人達は全世界の地質学者——あまりたくさんなので列記できないほど——たちですがとくに最近大洋島や大洋底の岩石学を研究した人地球内部の性質をより確かに調べるのに有効な化学的方法を考案した地球化学者そして海洋底を研究したり地球内部と岩石の年令を物理的に測定するための装置を完成した地球物理学者などの人々も含まれます。

しかしながら何が起きているのかということをもっとも明確に理解した人達さらにこの革命を生み出すのもっとも貢献した人達は一般に2つの特徴をそなえた地質学者であったという点にふれておくのがフェアのようです。すなわち物理学をきわめて良く会得しそのうえ小地域のことよりも世界的規模の問題に興味をもち幅広い訓練を受けた人達です。この人相書きは Holmes DuToit Carey Hess Heezen Menard Dietz Vine Matthews Irving Morley Doell および McDougall のような人にあてはめられると信じます。Wegener Vening Meinesz Bullard および Runcorn は同じ傾向の物理学者でしょう。

科学において何か本当に新しい重大事件が発見される時しばしば発生するのですが既存社会あるいは支配階級 establishment ——もし私たちがその問題と もっとも密接な関係をもつはずの巨大な研究機関をそうよばしてもらえば——は実際にはその問題とまったく無関係の状態をとってきました。石油と鉱山の企業はこの大陸移動のアイディアにほとんど注意を払っていません。地質調査所や地質学教室の大部分の人達はそういった革命を期待しませんでした。このような人達はただ限られた目標に集中していたのです。彼らはあまり技法の改良データ蓄積や情報保存用のコンピューターのコード作りに熱中しすぎたため他の科学が原理を発見することによって問題を単純化してきていることを忘れてしまいました。ケプラーやニュートンはチコブラーエ Tycho Brahe のあとにつづいたのではなかったでしょうか。

科学者のなかには隔離状態で研究する人がいるということが1967年3月14日ある著名な地質調査所所長から私にとどいた手紙からよくわかりました。その手紙は次のように書かれています。「国立委員会の見解は大陸移動の問題はそれ自身たいへん魅力的で刺激的なのですが地質学者にとってとくに大きな興味をひくものではありません……」。

大体この革命が生まれてきたのは防衛予算の結果とみなすことができましょう。そのお蔭ではじめて大洋底の隠れた場所月や火星さらに地球内部(原子爆弾爆破を探知するために作られた新しい地震観測網を通じて)に関する豊富な知識が得られたのです。これらの発見は人々の目を新しい可能性に向けて開かせました。

この見解は次の2つの理由から将来に大きな希望をいだかせます。科学は衣服のように1つの流行から別の流行へと移り変わってゆきます。地球科学としていつまでもみすぼらしい縁故関係にとどまっているわけではありません。一世紀前には地質学は第一流の科学でありました。William Logan 卿 Sterry Hunt および William Dawson 卿の名前はカナダにおいてそのことがいかに真実であったかを私たちに思い起こさせてくれます。地質学が衰退したのではなく有機化学工学原子物理学分子物理学エレクトロニクス電子計算機および他の科学が急激に進歩したため地質学をしのいだだけなのです。しかしながらこれらの科学が今度は新鮮さを失ない代りにかつてめざましい躍進をとうげた地球科学が再び立ち上れないという理由はどこにもありません。

もう1つの理由は1つの発見がしばしばもっと他の発見につながるということです。今日の地球科学には新しいアイディアと有力な新原理を求めて研究することに大きな喜びがあります——もはや私たちがより良いデータを旨めつぼう集めるようなことはいたしません。

大学におよぼす影響

大学や学校における地球科学教育が流動状態にあるのはよく知られています。ごくわずかな教室だけが地質学地球物理学および地球化学を組み合わせこれに適当に数学物理および化学を加えた教程で教育しています。他の多数の教室は地質学の教育をほとんど拡張していません。なかには興味を範囲をせばめている教室すら現われています。もっとも普通にみられる変化は伝統的な地質学の問題に新しい装置を導入することでした。これが良い出発点となって今では

新しいアイデアが導入されつつあります。地球物理学はこれまで物理学の支流として地質学の複雑さに十分注意しないまま別個に教育されてきました。

新発見に接する態度は元来多様ようです。総合化された教室などでは新しいアイデアを評価しテストするのに適しているでしょう。そうではない教室では新しいアイデアとほとんど関係をもととしないうしろしまた提唱されている理論に対してもまだ立証されていないというでしょう。このことは本当らしくではありません。誰も数学的確らしさを持ちながら遠い過去のことを再現させられないしその意味では大陸移動は立証されていなかったしまたその性質からも立証されえないのです。それにもかかわらず3つの比の一致があまりにもうまく確立しているためその説をもう無視することができないのです。何かの原理がこの一致の基礎になっているにちがひありません。大陸移動はこれまで提出された唯一つの説明であってその理由から幅広く認められるようになったわけです。こんなわけでもしあとあとの地質時代における大陸移動の精密なパターンが判明してくるならばこの発見は伝統的ないくつかの課題に大きな影響を与えるでしょう。

1928年 R. T. Chamberlin がいつたように「もし私たちがウェゲナーの仮説を信じようとするならば私たちは過去70年間に学んできたすべての事柄を忘れ再び全体をスタートさせねばならない」。彼の発言は幸いにも誇張ですが標準的教科書では大陸移動は起こらなかったという態度をとっています。もし実際に大陸移動が比較的急速に起こってきたならば私たちのこれまで受けた教育はまったく無意味であったといわねばなりません。今こそ私たちの態度を変える潮時ではないでしょうか。地質学および地球物理学的方法だけでは両者ともに十分な能力をもつとはいえず大陸移動と非移動とを区別できないという方法上に大きな弱点をもっている事実はないだろうか。

本質的な物体 すなわち鉱物 岩石および化石を研究することは科学の本格的な分野です。研究が続けられるときは可能な限りのもっとも効果的方法で遂行されねばなりません。これら物体の性質から結晶学化学および生物学とのお互いの関連がうまれます。

別の見地からみてある教室の研究対象が地球を研究することならば鉱物学 岩石学および古生物学は単なる道具であってきわめて効果的な道具でなかったことは明らかです。はっきりいえることは他の技法地球拳動の原理ならびに世界的規模の地質の一般的展望

を学ぶための時間を見付けるべきであり地質学徒に対して鉱物学 岩石学および古生物学や類質の問題をあまり詳しく教育すべきではないでしょう。

たとえば古生物学を考えてみましょう。地球磁場の逆転が世界中どこでも同時に一連の年代順を示しておりその逆転が第三紀の間にはひんぱんに起こっているのに第三紀以前には少なかったというのは事実のようです。このことは古生物学的対比をテストし対比を助けさらには溶岩流や化石を含まない他の岩石への対比に役立ちます。多くの古生物学者は大陸移動の問題にとりくんできておりあまりにも多様で反対の見解に到達してしまつたためある人は化石の研究だけでは事柄を解決するのに強力で十分な方法とならないとまで結論せざるをえなくなっています。一方このような新しい技法は正確に再現することを可能にしそうです。各大陸の昔の関係がはっきりしてくると全分野の古生物学は再研究するよう求められるでしょう。

この新しい提案は古生物学への要求を排除するどころかこの課題を助成し古生物学を一層確固たる基礎の上にすえることでしょう。しかしこの新しい理論を理解しないではこのことは遂行されえないのです。

誰でもまず最初に強力な新理論を学びその次に古生物学を学ぶべきです。古生物学は大学院研究へ次第に移行されるべきです。

岩石学においては火山や火成岩の出口がやがて消失するであろう供給源の上にじっと固定したまま残っているかどうかあるいは火山や出口が動きまわって連続的に新鮮な物質を引っぱり上げているかどうかなどについて決定しうることが肝要なのです。島弧におけるもっとも普通の岩石安山岩の起源に関する結論は次のことが決定されるか否かによって大きな影響をうけましょう。すなわち大洋底は静的でなくいつも安山岩を生み出す場所としての弧の下を通して大洋海溝の下へ押し込められている(Coats 1962)という点にあります。しかしながらこれらの重要なアイデアが適切に考察されてきたわけではありません。地球の化学は実験室のみで決定されるわけではありませんむしろ実験室が野外研究や新しいアイデアに対して補助的に利用される時のみ可能なのです。

再びいうけれど誰も大陸移動との関連を考慮に入れないで構造地質学 structural geology を正しく議論することはできません。大部分の既存の教科書では考慮されておりません。世界中のたくさんの巨大な断層は大陸移動によって生じておりますこのために以前認識されたことも記載されたこともない特殊な

タイプの断層——トランスフォーム断層——であるといわれています。構造地質学に関するどの本も その点にふれる時間的余裕すらありませんでした。

もし 各大陸が動きまわっておれば お互いに反応しあうにちがいません。現在 第三紀や白亜紀について精密な方法でこれを研究することができます。ひとたび 大陸が比較的急速に移動するとの考えが受け入れられると 以前の歴史は 古地磁気と地質学的方法を駆使して昔へさかのぼることができます。このような研究の進め方は これまでの大多数の歴史的地質 historical geology の内容を修正するでしょう。たとえば世界の地質に関する ただ単に近代的というだけの本では 大陸移動の考え方を真面目に 好意的に 受け入れることはありません (Kummel 1961)。たくさんの年代測定が大陸移動のアイデアと結合された時のみ 先カンブリア時代の歴史はかなりうまく解釈されるのです。

地球物理学においては 大洋上の地磁気異常のパターンの意味がやっと了解されるようになり 重力観測がさらに容易に解釈され そして地震の原因となる過程が一層よく理解されるのです。現実には 層序学 地球の物理学 古生物学 岩石学 そして構造および歴史地質学の教程や教科書は やや時代遅れになっており 改訂する必要があります。これまでの環境のもとでは 鉱床学や探査に対する私たちの考え方は漠然としたものになってしまい 何んの役にも立ちません。

したがって 地質学や地球物理学における伝統的手法は より大規模のスケールで結合された時と比べて あまり効果的で強力ではなかったのは明らかです。世界的規模の基礎に立ったあらゆるタイプの情報——地上とまったく同じように大洋上についても——をうまく利用することによって この新発見がなしどげられたわけです。地球が 互いに影響しあうたくさんの課題と地域をもった1つの系をなすことは明らかです。

これまで 地球物理学はある1つのグループ課題として教えられてきましたが 地質学は別の人達に対して また別の課題として教えられてきました。個々の課題は あまりにもばらばらな方法でデータを収集したり 集積した事実をつめ合わせて 処理されてきました。記載的地質学は ローカルな地域や大陸の議論に限られてしまいました。多くの人にとって 地球物理学は 探査のための単なる1つの特殊な方法にしかすぎません。

明らかに このような事すべては変化するはずで、新しいストーリーの詳細が手早く解きほぐされ そして新しい本が早く書かれると 地球科学も他の科学と同じ

ような基礎の上に立つことができ これまで伝統的課題の骨組みや主要部分がうまく説明したと同じように 地球挙動の原理について討議できるのは当然のことです。広域的地質 regional geology は 単にローカルに詳しいのではなく 世界的規模を基礎として討論されなければなりません。カリキュラムに大幅な調整が必要で あまり効果的でなく強力でもないとわかった問題について勉強することをやめ また大学院過程へ大幅に移行することによってこそ 時間的余裕を見出しうのです。

必要とされている今の変更は 大学過程から古典的物理学を大幅に取り除いて現代物理学のために時間をふりむけたことと同じなのです。これまで 誰も力学や音響学が間違っていたと連想しませんでした。これらの学問は惑星を追跡したり またコンサートホールを設計するために スペシャリストによっていまだに使われています。これに対して 大学の学習過程からこれらを落して エレクトロニクス 量子力学 電子計算機工学 およびさらに強力に一般に利用できる問題を教えた方が賢明であった との意見には いまや 誰れも異議をとなえていません。地質学や地球物理学においても 同じように模範につかねばならぬことははっきりしています。私のいっているのは 地質学の伝統的課題が間違っているということではありません。私の信じたのは これらの課題は 地球挙動の原理を十分理解したあとならば 一層うまく教えられるし もっと容易に理解されるということです。彼らが採用している技法は どれもこれも 物理学 化学 および数学の開発したものであって 地質学者はこのような教程にもっと力を入れるのが正しいのです。この変更には 時間もかかるし 反対も起こってくるでしょう。しかし地球科学はこの機会に応じて 立ち上り 変化することが必要なのです。私自身の経験から この転換のむずかしさを証言することができます。

この新しいアプローチに必要なのは 地球科学が学生を引きつけることです。とても近代的な大学カリキュラムが 地球や惑星の科学の全貌を学生に紹介できる今 一世紀以上にわたってよく考えられて しかもただ単にローカルな興味しかひかず とても地球の大問題に立ち向えそうもない そんな問題を 聡明で若い研究者がどうして好んでとりあげて研究せねばならないだろうか。今 問題の全貌を示し もっとうまくアピールするには 現時点がどのような状態におかれているかについて はっきり指摘することだと思います。すなわち いまや 他の惑星が探査され 海底から驚くほどの新発見が生まれ 惑星地球の内部が理解され そしてジ

エット機 ヘリコプターや航空探知機 flying sensors が世界中のどの上空でも探査活動をやっている時代なのです。これは 私たちの学生にアピールしたり 学生を求めめるための確実な足がかりの第1歩なのです。そのような訓練を行なうことにより マッピングのようにどうしても不可欠のルーチンの仕事を誰が行なうか という疑問が起こってきます。これに対する私の回答は地球科学は予想したほど今は効果的でないし またたくさんのお学生を引きつけていない ということです。しかし もし近代化されれば もっと使いものになり さらに良い仕事をするたくさんのお学生を誘い込むことになりましょう。

産業におよぼす影響

鉱業や石油産業は有用な鉱床を発見できる地球科学者を求め しかも多数望んでいます。産業はうまく探査した人や巨大な石油の発見者には いつも最大の報酬と最高の賛辞をおくってきました。鉱体や石油貯溜層を見付けるには どこに試錐すべきかを知るための理論がなければなりません。今日では その理論は やたらに試掘する山師の勘に頼ることなく 地質学的 地球物理学および地球化学的データを結合させてえた評価に基礎をおくようになってきました。ここに提案した幅広い訓練は 産業には是非とも必要なことなのです。過去において 地質学は理論を欠いていて そのため産業に関する限り重大な欠陥となっていました。1つの精度の高い理論が 今ここに提出されました。それは直接的利益をもたらすでしょうが 将来にもっとも希望をいだかせることといえば 他の科学における諸発見は 単独ではまれにしかなされていらないことです。1895年—1920年間における 物理学上の偉大な革命のあとを見てごらんください。地球科学においても まったく同じような将来性が期待できるのです。

直接的影響のいくつかについて のべてみましょう。石油産業についてみると 大陸の中心部における若い地層には これらはほとんど影響を与えることはないでしょう。もっと古い岩石 とくに海岸近くに分布するものでは 大陸移動説を受け入れることにより 非常に膨大な量の堆積物が現在大洋となっている地域から運ばれてきた というその理由を説明しやすくするでしょう。Barrell と Schuchert が空想したように 境界域 borderlands には 可能性ばかりでなく 本当に見込みがあるのです。大陸のブロックは ともに移動したりあるいは繰り返し割れては離れていったことは明らかです (Wilson 1966)。このことは 衝上運動や地溝化 rifting を説明しましょう。

各大陸の運動は 海洋性から大陸の蒸発環境への変化を説明します。したがって Belmonte; Hirtz; Wenger (1965) がほのめかしたように Gabon (アフリカ西海岸に面する赤道直下の国) や 対岸のブラジルの岩塩ドームや石油鉱床は 大陸が割れて分離し始め 白亜紀中頃にまずその裂け目に海が入り込んだためできたのです。

最高の効果が期待できるのは オフショアの石油盆地です。大陸移動は なぜメキシコ湾がジュラ紀において小さな乾燥盆地であったのか さらに どうして 12,000フィートの海底上に 岩塩ドームが存在するのかを たくみに説明いたします。大陸移動は Grand Banks (東カナダ ニューファウンドランド島東南方にはり出した大陸棚の名称) の南側に沿って さらに 西アフリカの赤道帯海岸沖にきわめて大きい走向断層を作り出すことができます。もしこれらの断層がトランスフォーム断層ならば 大陸を貫いてしまう必要はまったくなくここに 大陸移動を考えなくては不可能で これまで空想もされなかった1つの事態がはっきりしました。

大洋上における地球物理学的研究に基づいた議論は 陸地の地質学的議論を強化します。だから Hamilton; Myers (1966) がカリフォルニアの地質を長い間研究して結論した通り San Andreas 断層は年6cmの割合で動いています。この数字は Vine; Wilson (1965) がえた値に 偶然にも 正確に一致します。

鉱業では 銅とニッケル鉱床を伴ったあるタイプの巨大な超塩基性岩体を解釈する際に この理論はいちじらしい影響を与えます。Gass; Masson-Smith (1963) および Maxwellによると キプロスや 多分 キューバ イタリア トルコ ギリシア ニューカレドニアおよびニューギニアにおいても同じように これらの超塩基性岩体は海底側から陸地の上に向かって衝上しています。これまで これらの地域において こんな解釈がなされたことはなく したがって この変化は探査する上に大きな意見の違いを生むでしょう。

再び これはよく知られていることですが スコットランドの Great Glen のような大断層に沿った地域では 鉱床がまったく発見されず これに対して Kirkland 湖の割け目やあるいは英領コロンビアとカリフォルニアにおける断層のように たいへん鉱化作用を受けた所もあります。おそらく この新理論がその違いを説明しすした新しく有望な産地に目を向けさせるでしょう。バソリスやそれに伴った鉱床の場合にも 同じことがいえましょう。重要な鉱床をもった アンデス Andes や コルジェラ Cordillera 山脈の造山運動は 大西洋が開口した時の運動の影響をうけて生まれたらしい という

事がはっきりしてきています。鉱床学の統一的課題をより深く理解するための好機が到来しました。

需要と要求

もうすでに述べましたように 大学のカリキュラムを変更するため私が出した提案は 必ずや反対に出合うにちがいありません。しかし 驚いたことに その反対は思ったほど強くないのです。この冬 以前きわめて保守的であった ある大きな大学の教室のおもだった人達が 自分達の考え方を根本的に変えてしまったのです。1967年3月 ポストンで開かれたアメリカ地質学会の全国会議において アメリカのある主導的な教科書がこの新しいアイデアを盛り込んで 間もなく出版されるのを発見しました。地球科学者達は 自分達の課題を変更する好機が訪れたことを知って 急いで新しいアイデアへの転換を行ないました。

それでもまだ残っている反対意見には おもに これまでのタイプの地質学者を求める需要がまだたくさんあるのに どうして変更するのかという考え方が根強いのです。もちろん 今日では 理科の卒業生ならば 誰もが良い仕事につけます というのも卒業生が多くはないからです。これまでのタイプの卒業生は ほとんど学校教育の方に入ってゆく それはそれで好ましい事ですが あらゆる探査法の訓練を受けた人を望む産業の要求には まったく見合っていない。

カナダ地質学協会によれば 「たくさんの卒業生は鉱物探査に役立ちそうもない地域の研究を続ける傾向があり……産業界に入ろうとする数は かなり制約されている」(Canada 1966)。協会はまた教師を求める需要についても意見をのべています。アメリカ石油地質学協会の行なった評論によると 地質学専攻の卒業生の供給はほぼ需要に等しいが 地球物理学の卒業生の供給は需要の10分の1にしかすぎないとのことです(Royds ほか 1965)。

どの教授も 自分のやりたい研究はどんなことでも自由にやれるべきだとか また支持されねばならないという概念は 一般的なもので それ自身の利点をもっています。そのおもだった主張は この研究方法に限って新しいアイデアが思いのままに湧き出すことができるという点です。このシステムが無きずであるのは もっとも穏当な助成金の場合だと思います。

助成金を与えるある団体の一員に 一度でもなったことのある人ならば 他におよぼす好ましがらざる影響を調べるでしょう。このシステムは 生産性にとって何んの誘因にもなりません。これに対して 経済をこころえた地質学者達はほとんど研究をしないようなやり方

で産業の仕事をするので 助成金はまったく経済的利益をもたらさない分野へ 自然と集中するようになります。このシステムのもう1つの特徴は オリジナリティに反対するように思える点ですが 実際には このシステムはもともとオリジナリティの立場を力づけるべく計画されたはずで、助成金下付団体は 限られた少ない分野から出されたおびただしい要請にはよく応じているようですが 同じように あるいはそれ以上何度も機会をとらえて申請している別の分野の要請には ほとんど応えていません。このようなことが なぜしばしば起こってきたかという 一代あるいはそれよりずっと以前に ある問題に関して1人か2人の優れた教師がいて 優秀な学生をたくさん引きつけたとすると もうそこで1つの伝統が始ったことになるからです。このように影響を受けると 学生達はその分野の研究をつづけたく思うし また 誰かが仕事を変えて新しい分野に入っていくと思っても このシステムはもはや刺激的でなくなります。

この事態を補うために 3つの方法が利用できます。まず第1に 政府団体は特別助成金によって 遅れている分野を激励すること。第2に 科学上の重大発見が優れた新しい研究者を引きつけること。現代物理学が古典物理学にとってかわって 興味の中心となり また今日の原子核物理学に圧倒的に集中するようになったとき このような現象が起こりました。第3に 産業ははっきりと自分の要求をのべることです。もし 鉱業や石油産業がもっともつと坑夫 地質学徒 地球物理学徒をほしければ そのことを一層明確にいうべきです。都会にいる大多数の学生には 産業というものは遠方の魅力的でない奥地から 小さくとぎれとぎれに聞えてくる声にしかすぎないのです。ほとんどのカナダ人は 鉱山も石油の油井やぐらもみたことがありません。この点 南アフリカのように 大都会そのものが鉱山の構内にもなっているような所とは かなり事情がちがっています。しかし アルバータ Alberta だけは都市の近くに油井があるので 唯一つの例外です。

産業は もうこれ以上金を費さないでも もっと良い成果を入手できましょう。今の奨学金や広告が要求にあわせて もっと特殊の方向に向けられるでしょう。

もちろん 会社のなかには すでに夏期の雇用や奨学金によって 大々的に実行している所もあります。もっともめざましい例に 地球物理サービス会社が アメリカ合衆国において過去16年間 カナダにおいて2年間夏期学生に行なってきた指導セッションというのがあります。Cecil Green 博士は教育を補助しようという利

他の見地から このような計画を始めたわけですが その結果 多数の最優秀学生が刺戟されて地球科学を勉強するようになってきました (Shrock 1966).

たくさんの優れた 個別の努力がなされたにもかかわらず カナダにおいては 産業規模のプログラムがありません。パルプと紙産業は 別のケースですが 一つの研究所を援助しており また 南アフリカでは鉱業会議所が Witwatersrand 大学の鉱床学研究団を助成しています。事情がまったく同じでなくても このような努力は考慮に値します。

農業 これはどこでもみられるものですが カナダ経済にとって もはや鉱業以上に大切ということはありません。しかし 農業は専門の農科大学や生物学の研究を通じて 総合大学から非常に大きな援助をうけています。鉱山業はたくさんの人を必要とし また探査に役立つ地球の基礎的研究を望んでいます。そのどちらも総合大学によって最高にうまく育てられるはずですが、しかし 優秀な理科学学生にとって 魅力的で もっと別の道を探ることができるようなときに 産業は彼らが必要であるともいわず また近代的で魅力的な実情をはっきり示さないようでは 学生をひきつけることはむずかしくなります。ここではっきりいっておいた方が良いのは 他の分野の科学者の大多数の意見によると 地質学者も探査家もどちらも基礎的研究の意味を 正当に理解していなかったことです。このことは 地質学者側の過ちによるものではありません。地球があまりにも複雑なため データ収集に力を奪われてしまったのが大きな原因です。地球は 物理学や化学で研究されているどんな内容よりもはるかに複雑なのですが このため地質学という科学はそれに応じてあまり進歩しませんでした。地球科学者にとって 2つの好機会が 突然訪れたように思えます。

原理の発見は どんな時でも データ集めだけの仕事よりもっと心はずむもので それにたいへん科学に役立ちます。1つの偉大な新原理が たった今 地球挙動に関して発見されたように思われます。この原理は 早急にまた積極的に探究して 利用されるべきでしょう。

私たちは どんなことが地球のなかで進行しているのか 今こそ知っているようです。かつて Harvey が血液の循環を発見し生理学に貢献したことや 進化が生物学になしたように この原理の発見は 地質学にとって重大なことなのです。これこそ 1世紀間における地質学上最大の輝かしい事件であり 研究もすべてその方向に傾けるよう努力すべきです。

第2に 地球とその鉱床が1つの系——地球の系——全体が互いに影響しあう——の一部をなす と理解することです。ここで始めて 新しい方法を使って 全体の系——陸地の地表と同じく 地球内部や大洋底を含めた——を探究する好機が訪れたこととなります。私たちは 他の至近の惑星系を探究する事態に面しているのです。鉱体や油層の構造は その系の部分であって偶然に生じたものではありません。これこそ なんと 気持のたかぶる挑戦ではないでしょうか。数々の偉大な発見のための 好機ではないでしょうか。若い人達にとって なんといい すばらしい魅力ではないでしょうか。私たちは 偉大な変化が起こった ということを確認せねばなりません。それをうまく利用することができれば 私たちは 自らの考え方を急激に広げ これまでの習慣を変えるにちがひありません。

地球に関する論争

An open letter to J. Tuzo Wilson

J. Tuzo Wilsonへの公開質問状

V.V. Belousov

上部マントル委員会委員長

モスクワ

ウイルソン教授殿

あなたをご親切に送ってくださった論文 地球科学における革命をたいへんおもしろく読みました。

あなたは 地学 geosciences における一般理論の必要性をとてうまく 印象的にのべられました。私たちの上部マントル計画 Upper Mantle Project が 実際にはそのような1つの理論をうち立て そして可能ならば さらに 少なくとも必要な物質を採集するつもりであったように思います。しかしながら あなたは 1つの理論がすでに存在していて それに呼応して教科書が書き換えられ 教育も再編成されるべき と断言しておられます。あなたのいう新理論のもっている1つの重要な利点は 若い人達を魅惑し そのうちかなり多くの人数を 物理学や数学から転向させる可能性にあります。私は この問題に関して 多少意見をのべておきたいと思います。

1. Lyell のとき以来 地学には重要な出来事はなに1つ起こっていない とのべておられるのは 明らかに間違いです。なぜ地球収縮説 contraction hypothesis を見のがしておられるか理解できません。私たちの研



V. V.
ベロツフ教授

究では この説はほぼ一世紀にわたって君臨し とくに前世紀の後半における地質学上の大躍進にとても貢献しているのです。M. M. Tetyayev (1941) の考えた構造地質学 geotectonics のアイデア これもまた たいへん革命的なものであったと思います。これまでばらばらに扱われてきた事件の間に 規則性の存在することを見出し 地球造構運動 geotectogenesis 一致の原理を樹立しました。

2. 以上のべた地球収縮説の例は 教科書を書き変えようと急いでいる人達にとって1つの警告となるでしょう。前世紀の終わりや さらに今世紀の始めにおいてこの地球収縮説の正しさに疑問をいだいた人はほとんどいません。そして どの教科書も 地球収縮説を基礎にして書かれました。地球収縮説の基本的原理は 地質学者にとって第2の天性（習慣のこと、'Habit is a second nature' 諺）から）になっていたの 今日に至るまでほとんど普通の広域的地質の論文のなかにも この仮説は強く反映されていたのです。

でもこの地球収縮説の基礎は もう 崩壊したのです。今日の地質学上の理論にまつわるいくつかの難点は その基礎がつぶれてしまっても 特殊なアイデアや概念が貯えられ そのまま依然として残っていることから起こっています。

新しい物理学的現象——放射能——が発見された という理由だけで 地球の熱体制に関する私たちの考え方がひっくりかえり この地球収縮説を傷つけたのではありません。この説が傷つけられたのは その原始的性質にもよります。すなわち 自然現象を模式化し それらをひどくゆがめた状態へ変えてゆくからです。これでは 決して 垂直（造陸 epeirogenetic）の地殻運

動を説明できません。詳細な研究が出ると 褶曲運動が多種のものであるとか また明らかに別の異なった起源のものであるとか っておれなかったのです（たとえば水平圧縮と台地のドーム状褶曲 platform quaquaversal folding との間にはどんな関連がありますかそして これは石油屋さんにとって興味深いことでしょうか？）1906年 Ampferer (Fourmarier がそのあとを継ぎ 1947年にたいへん立派な論文を書いた) に始まってから 地向斜の構造は その複雑さと歴史のため 2つの剛塊の間に破碎作用を考える程度のラフなメカニズムでは説明できない とくりかえしのべられています。この地球収縮説があまりにも図式的すぎると 判明したケースをリストにしてみるとかなり長くなるでしょう。

3. あなたが守ろうとしている新理論は 今どんな状況にあるのでしょうか。単純にいえば その説にはなんの根拠もないのです。当時受け入れられていた Laplace の星雲説 cosmogenic hypothesis によれば 地球が次第に冷却することはきわめて当然に思えましたそしてあなたの説に欠くべからざる深層の対流が 実際に存在することを誰も示していないし あるいは 対流の可能性すら示さなかったのです。計算された図式はもっと原始的でさえあります。たとえば その熱源が動いている物質の外側でなくて 内側にあることを考慮しないのです。これらの流れが どこで またどんな深さのところまで流れているのか まったく明らかでないのです。大洋では その流れは表面にあるべきです。さて それでは 大陸の下ではどうでしょうか。

大西洋だけとりあげてみると 流れの図式を編むことはそんなにむずかしくありません。しかし 地球全体をつつむ流れの図式を たとえ推論的で 機械的には可能であっても つくり上げるのにまだ誰も成功していないのです。あなたは そのような試みをやってみられました (Wilson 1965)。注意深く考えてみましょう。地溝帯 rift をもつアフリカと それに近接するインド洋（同じく地溝帯をもつ）とは 解決しそうな問題も提起します。あなたが基本的と考えた規則性に従えば地溝帯から離れてゆく方向に 矢印をつけねばならないのに あなたはそうしないで全アフリカ大陸の下には南から北に向かう一本の矢印を描いておられます。なぜでしょうか。また インド洋中央海嶺のもう一方の側でも地溝帯に垂直でなく 平行しているのはなぜでしょうか。さらに その海嶺の北部について かんたんに この図式を消してしまいました。なぜでしょうか。カリフォルニア沿岸近くでは 直角に交わる流れを示しておられます。流体力学の初歩的原理によれば これ

は可能でしょうか。

自然現象を模式化する場合 地球収縮説に限って 改良の余地はまったくありません。 地向斜の発展について すでに信用されなくなった水平方向の破砕作用と まったく同じメカニズムを あなたは認めておられます。 絶えることなく 普遍的に起こっている造陸運動（堆積物の厚さと岩相を比べてごらん下さい）は 説明されな いままなのです。 どんな地質構造発達史も 地溝帯と 地向斜に帰せられるべきもので これら2つの要素は 互いに関連しあう 構造上の両極点なのです。 まず第 1に 大陸上には 地向斜さえ存在しません。 たとえば 私の国は大部分 地向斜初期以前の状態にあります ですから 私たちは エクストラ地向斜 extrageosyncline 地域の発展を治める法則を 単純には忘れられないのです。 第2に 地質学的データが明瞭に示しているように 地溝帯はきわめて若い すなわち もっとも若い（アルプス）地向斜発展の初期よりも ずーっとあとに 地溝帯が生れているので 地向斜発生の原因になれるはずがないという事実があります。 では 古い地向斜についてはどうでしょうか。 ヘルシニア期 カレドニア期 先カンブリア時代は、 これらに対応する地溝帯の存在について なんのデータも持っていません。

あなたが熱心に推めておられる理論では 大陸の地質学的発展は 地球収縮説が行なった模式化よりも さらに図式化されています。 大陸の地質はかんたんに しかも完全に消されています。 それでも 教科書を書き改めたり また 大陸の地質についてのすばらしい研究成果を 大幅に見捨てることができるとも思っておられるのですか。

このように行き過ぎた模式化の行なわれる原因は 新しい概念のなかで 大洋が主役を演じているためなのです。 当然ながら 大洋研究の成果は はかり知れないものであって 地球に関する私たちの考え方に まったく新しい色どりをそえるものです。 しかし これらの成果がどんなに偉大であっても 大洋地域の知識がかなり図式化されているばかりでなく ほとんど間接的データに基づいている点を忘れてはなりません。 固化している大洋地殻が いったい なにからできているか 私たちはまだよく知っているとはいえないのです。 その地殻が蛇紋岩質である とは誰も証明していません。 これに対して 私たちは 大陸地殻について 若干知っています。

古くからの よく吟味された とても精密な大陸の地質が 大洋の構造に関してまだ確定的といえないデータ

によって このように犠牲にされているのです！ あなたは 歴史地質学の基礎として 海盆がくりかえし開いたり閉じたりする過程を 利用するよう提案しておられます。 でも 大洋底の構造について 直接的事実がもっとわかるまで 待った方がよいのではないのでしょうか。 そのような理論は あなたが期待している若い人達に対して かえって逆の悪影響を与えはしないのでしょうか。 むしろ 若い人達の気持は満されず 逆に もっと的確な弁明を求めるのではないのでしょうか。

4. もちろん どんな理論でも それ自体好ましい有利なデータをとりあげます。 しかし 誰かが疑問に思っ て質問するときには 返答されねばなりません。 もしそうしないと 好ましくない印象を与えてしまいます。 ここで 私がこれまでしばしば行なってきた質問を列記してみましょう。 しかし どれ1つとして まだ答は出されていないのです。

(a) 大洋底拡大説 spreading ocean floor では 大洋地殻は 蛇紋岩質でなければならない と決めてしまっています。 そこで 大洋地殻が一樣の厚さをもつことを どう説明しますか また大洋におけるモホロビッチ不連続面 Mohorovicic discontinuity とは なんでしょうか (Hess が 1962年に行なった説明は あまり人為的すぎて本当に思えない) というにあなたも同意なさるでしょうか。

(b) オホーツク海 日本海 カリブ海や黒海のような 海域の地殻物質は何でしょうか。 そこでは 地殻はどのように形成されたのでしょうか というのは そこには地溝帯がないからです。

(c) もし 流れが大洋底から表面までわたって動けば 大陸の端で大洋底が変形しないでも 流れが大陸の下へもぐり込むことができるのでしょうか。

(d) もし 2つの向かいあう流れが大陸の下へ流れ込み そこで互いに出会うと 2つの流れの影響がうまくバランスする位置で 大陸は止まるでしょう。 コルジュラやアンデス山脈の若い褶曲帯は 大陸の端にあたります。 一方の側の流れが大陸の下を通過するのに対して もう一方の側の流れが端で止るのはなぜでしょうか。 アフリカの下では 流れに何か異変が起こっているのでしょうか。

(e) 以上のべたことに関連して もう1つの疑問は 流れの深度についてです。 台地 platform において 陸背斜 antecises と陸向斜 synclises とがゆっくり垂直運動する理由はなんでしょうか。 地向斜のなかへ 台地の土へ また大洋中に噴出するマグマのチャンパーはどこにありますか。 マントルのなか？ 深さは？ そして もし 大陸がマントルに対して転位していたら 何億年もの間 いくつものサイクルの変動をうけながら 大陸やマグマの中心がまったく安定しているように 陸背斜と陸向斜が同じ場所にとどまっているのは 偶然でしょうか。 大洋底と一諸に移動する火山は その火山の供給源であるチャンパー

との関係を失わないで済むのでしょうか。

- (f) 規則的に まったく一様に くりかえしてやってくる構造運動とマグマ現象とを伴った変動のサイクルを どう説明しますか。この質問が格別鋭く思えるのは あなたが防衛している理論に従うと さまざまな時期に各大陸がマントル上のいろんな場所にちらばっていたことになるからです。
- (g) 大陸の熱流量の平均値が 大洋における値とまったく同じということを どのように説明しますか。
- (h) 地傾斜が 下向きの流れ つまり もっとも冷却した流れの場所にできるとすれば 鉱物地質温度計法による過去の地下増温率測定から確認されているように その地傾斜中の地殻の物質加熱(貫入 広域変成作用 花こう岩化作用)の徴候を どう説明しますか。

5. あなた自身の示した方法こそが 一般化へ導く唯一の方法と あなたは信じておられます。地質学の一一般の問題を研究する大多数のソ連の地質学者と地球物理学者は ちがった意見をもっています。もっと別の方法もあるはずですが。たとえば 数々の論文で私が試みた方法がそれです。これらの方法が 私にとってのみ とくに将来性を約束するというではありません。なかには 大洋地殻の分化により大陸ができる という古いアイデアを復活させることができる と信じている人もいます。過去10年間に出版された一般化問題に関するあなたの文献リストは もし ソ連研究者の論文を考慮すれば もっと長くなったことと思います。私たちの立場からいうと A. D. Arkhangelsky (1941) V. A. Obruchev (1940) M. A. Ussov (1940) M. M. Tetyayev (1941) の論文がまだ活用できるともいわずだまって見逃しているのが ふしぎでなりません。私たちの国は地球陸地の6分の1を占めており そこに住む人達のなかには 科学と国家経済にたいへん責任を感じている地質学者達がいるのです。

6. もちろん 地磁気観測を現代的に解釈すると あなたが守ろうとしている理論に都合がよい点を指摘せねばなりません。これが あなたの最強の論拠になっています。しかし 奇妙な話ですが ただそれ1つだけが理由になっており 他の論拠(たとえば 海岸の等高線 古気候データや構造上の類似性のような)はいつも別の解釈が可能なのです。

当然 地磁気データはとくに注目に値します。しかし これらのデータといくつかの印象的な反駁とをひきあわせてみると 次の点について考え直すようになるのではないのでしょうか。古地磁気データ解析結果にきわめて大きいバラツキがあるということ すなわち いく

つかのたいへん奇妙な結果がえられている(たとえば [Boer 1963] ヒマラヤ山脈からトルコとイランを横切るイタリアアルプス山脈の運動 あるいは もともと環太平洋帯に定着したはずで 白亜紀にはインド洋中部にいたニューギニアの位置) そして あなたの解釈の基礎となっている地球磁場が 一定の構造をもつと仮定していることです。その他の地質学的 地球物理学的データにもそのような多数の反証があるのを頭に入れると あなたの理論に賛成で ただ1つの積極的かつ重みのある議論は 念入りで客観的分析に屈服してしまうのではないのでしょうか。たとえば もっと十分調べると 地磁気異常帯はむしろ不規則に散在するパッチとして離ればなれに分布するとの見解 (Matthews ほか 1965; Loncarevic ほか 1966) を考慮すると 地磁気異常が大洋の地溝帯に平行するという文献は たいへん信用のおけるもの というには時期尚早ではないのでしょうか。一般化しすぎた比較を行なうと 幻想の犠牲者になりやすいものです。というのは あるグループのパッチが直線的にみえたりします。火星の運河をみてごらんさない。そして ついてながら 紅海付近や東アフリカの地溝 graben 付近に類似の直線模様がないのはなぜでしょうか。

私は一般的な理論には賛成します。しかしその理論は大洋中や大陸上でも発生する諸々の現象の全貌を 念りにまた正確に研究した結果に基づかねばなりません。またこれらすべての出来事をうまく統一する理論でなくてはなりません。しかし 私たちは自然現象を十分に研究したとはいえ どのような確立した理論をも公式化できないように思います。しかも 今は 新しく 技術的にも 方法論的にも効果的な手段が自由に使えますので そのうちに 大きなブランクをうめるのに役立つことでしょう。これをおし進めるためには 仲間達とくに若い人達に訴えることです。そして 私たちがすべきことは 私たちの今までの経験に基づき 地球内部やそこに起こっている出来事を研究するには どの道筋がもっとも適しているかを教えることです。

明らかに 1つの道筋を選ぶためには まず作業仮説を必要とします。いくつかの仮説があれば一層好ましいでしょう。こういう観点からみますと 大陸移動の理論も 大洋底拡大の考え方も 他の考え方(大洋地殻の分化作用や大陸地殻の海洋化作用 oceanization の如き)と一諸に作業仮説として役立つでしょう。きわめてたくさんの仮説は 変わったアプローチを保証しますし またこの方法こそ 私たちの科学にとっても利益をも

たらずことになります。

しかし もし そのような作業仮説を最終的理論と呼んでみたり また 真実が自分の身近にあって私たちが手がのばしてその花をつみとるべきだ などと断言するようなことがあれば 次の世代の人達は非難するでしょう (おそらくあざ笑うでしょう)。 私たちはむずかしい科学に生涯を献げてきました。しかし 不幸にもその科学はまだ基礎的データを寄せ集めているだけです。

私たちは ごく浅くの地球内部の秘密に さぐりを入れ始めたばかりなのです。 科学者にとって さげられないこと すなわち 探究と卑しく思われるような労働とを 一生懸命やってゆくような指導もせず 身のまわりにはたいへんむずかしい問題が残っているといて 若い人達にごまかしの希望と夢でなだめ誘惑しようとするのは きわめて無責任といえましょう。

地球に関する論争

A reply to V. V. Belousov

V. V. Belousov への回答

J. Tuzo Wilson

ペロウソフ博士殿

公開質問状をくださりありがとうございます。 私はあなたのおっしゃることにたいへん賛成で 数年前ならばその気持は一層強かったでしょう。 反面 重大な見解の相違もありますので 回答できる機会を与えてくださった Geotimes の編集長に厚く感謝いたします。

もちろん いうまでもないことですが これらの見解の相違があるからといって 国際地球観測年の特別委員会の委員 1967年に開かれた国際測地地球物理学連合の Berkeley 大会の会長 また上部マントル委員会議長 など国際協力を推進してこられたあなたのこれまでの偉大な業績に対して 私の敬意が少しも弱まるものではありません。

基本的議論をする見地から 些細な見解の相違は見すごすことに致します。 大陸と海盆がまったく固定化していると信じつづけているのはあなたの方であって 私は9年も前に考え方を変え 水平運動が広く起こっていると信ずるようになりました。 いま 私が支持しているのは 岩石圏はくりかえし板状にこわされ その板 Plate が互いに遠くへ移動していったこと および この現象が長い地質時代を通してずっと進行しており ウェゲナーが考えたように後期古生代以降のみの現象では

ないということです。

このような基本的なちがいはあってもなお あなたののべられたたいていのことは容認します。 大陸上における大部分の地質学的観察は正確で 重大なものであり しかも無視できないもの ということにも同意します。 問題の大陸移動にとって有利などの事実も 過去長期間に結論的ではなかったことを認めます。 Taylor (1910) Baker (1911) Wegener (1912) de Toit (1937) や もっと最近では Carey (1958) Runcorn (1962) Blakett (1965) Bullard (1965) の方々の努力にもかかわらず ごくわずかの人にしか大陸移動を信じ込ませることができないということを根拠にすると あなたの言明 「海岸の等高線 古気候データ 地質構造の類似性などは いつも別の解釈が可能である」は正しいものです。 これらの議論が進められてから何年もたって 大多数の地質学者と地球物理学者は このような議論をしりぞけました (R. T. Chamberlin 1928 Jeffreys 1959)。

仮想されたメカニズムが実存するか否かという議論はあまり価値があるとはいえません。 だから あなたの指摘されるこの議論は それ自身では根本的な革命の正当な理由にならなかったと思います。

私たちの間にあるおもな違いは あなたのおっしゃったことではなく あなたが言明をされたところから起きているのです。 あなたの議論は 数年前には多少強みをもっていましたが いまでは その議論は地位を失ってしまったように思います。 驚いたことに あなたは最近の数多くの発見をまったく無視しています。 それは あなたのいう古いトピックスではなくて 諸々



アフリカ大陸と
周辺の海底地形

の意見をかえ 地球科学における革命を鼓舞し しかも地球挙動についてのエレガントで正確で新しい説明の発端となった 数多くの発見のことで (Morgan 1968; Le Pichon 1968; Isacks; Oliver; Skyes 1968). あなたがかんたんに片付けたり あるいは無視したりするのに対して 私が決定的と考えるこの新しい論拠は 海底拡大 sea-floor spreading 古地磁気および地震の3つのグループにわけられます。

海盆が大洋中央海嶺から広がっているという概念は Holmes (1931) と Hills (1947) とにより進められ Holmes の教科書の二訂版にも用いられています。この考え方は Ewing; Heezen (1957) が大洋中央海嶺系の連続性を発見したことから猛烈に受け入れられました。

この発見が考え方を大きくかえ Hess (1962) や Dietz (1961) の拡大説へと発展しました。それを支持する事実は 多方面から生れてきています。

島々やコアが 大洋中央海嶺の頂部から海盆の周辺にむかって 次第に古くなることが観測されています

(Wilson 1963a; Funnell 1966; Burcke ほか 1967).

堆積物の厚さが同じ傾向で厚くなると Ewing; Ewing (1967) が観測したと同じように この現象は大洋中央海嶺から拡大するというアイデアを支持しています。

アメリカ合衆国沿岸および測地調査所 H. W. Menard (1964) Heezen ほか (1964) その他による断裂帯 fracture zone の発見と探査から 成長する大洋はトランスフォーム断層により区切られているという仮説が生まれました。その断層は次の3点において 横ずれ断層とちがっています

- (1) 断層は決して結合しあった大陸のなかへ入らない
- (2) 地震帯は断裂帯の軸線部とその支脈に限られている
- (3) 運動方向は単純な支脈とは逆方向にある

断裂帯の大部分がこのような性質をもっていることを明示するだけで 海盆が本当に広がりつつあることを もう証明したようなものです (Wilson 1965a; Skyes 1967). ソ連において出版されたとくに Udintsev (1964) によるすばらしい海底地形図が 大洋底に関する私の見解にたいへん役立っていることを この機会に私は感謝しておきたいと思います。

あなたは Vine; Matthews (1963) の提案すなわち大洋中央海嶺上の地磁気異常のパターンが 大洋底拡大説 ocean-floor spreading を支持することを 忘れておられます。それは 大洋底上の地磁気異常が規則的パターンを示すといった最初の証拠であって しかもたいへんはっきりしていたと思います (Raff; Mason 1961). あなたは Vine (1966) Heirtzler ほか (1968) Demi-

nitskaya; Karisik (1966) が広域にわたる規則的パターンとのべたことを “むしろ不規則にちらばったパッチ” としてかんたんに片付けているこのことが 私には信じられないのです。

あなたは Cox; Dalrymple; Doell (1967) McDougall; Chamalaun (1966) やコアについて Opdyke ほか (1966) が行った古地磁気の逆転を支持する証拠について 何ものべておられません。

さらに 第2グループの古地磁気に関する最近の発見を あっさり片付けておられます。ご指摘の矛盾や難点は若干問題になります。しかし別の点において 1つの新しい課題を発展させる場合に それは当り前のことです。たくさんの観察事実が一致することの方がもっと重大です。大陸の現在のパターンは 若い岩石についてみると一致していますが さらに 古い岩石についても そのパターンにみあう系統的变化が考えられます (Irving 1964; Krapotkin 印刷中). 地球磁場がずっと二極性であったことを示すために またこの点で 疑惑の原因を取り除くために あなたの同胞 Khramov ほか (1966) ほどうまくやった人は他にはありません。

第3の新しい進歩は あなたの公開質問状のすぐあとに出版されました。Isacks; Oliver; Skyes (1968) の言によれば 移動に関する最近の考察は 以前にはまったくみられなかった詳しさで 地震運動の分布 メカニズムおよび方向を説明しています。

あなたは 大陸の移動を可能にするこれらたくさんの仮説を否定する前に 自分の固定的な大陸にむけられた以上3つの最近の発見が提起する容易ならぬ異論に対して 答えねばならないと思います。同じような理由で私に向けられたあなたの8つの特別な公開質問について 回答してみたいと思います。と申しますのも あなたの観察事項を 大陸移動説の言葉に適当に翻訳し あてはめることができるからです。以下は私の回答です。

- (a) Hess (1962) の考えた説明が優れていると思います。
- (b) 厚い堆積物を除けば オホーツク海の海底は近隣の 太平洋のものと同じと信じます。というのは 千島弧はオホーツク海の海底より若いからです。カリブ海は太平洋の狭い入江です (Wilson 1966). 黒海は地中海と同様に 閉じつつあるテチス海 Tethys Ocean の残存物です (Le Pichon 1968; Wilson 印刷中). 日本海はもっと古く また複雑でしょう。しかし私にはまだ説明できません。
- (c) 大洋底は 大陸の端において変形し 深海溝の中へ入って行き そこでは岩石圏の板が互いに重ねあわさります (Isacks; Oliver; Skyes 1968).

(d) あなたが混乱される原因は、流行おくれのウエグナーの見解に執着しすぎるからではないでしょうか。もしや大陸はプラスチックの大洋底を通して移動するいかだのようなものと考えられてはいません。岩石圏全体は少なくとも50kmの厚みを持ったこわれやすくまたこわされて偶然的な形の大陸の板になります。このように考えてみると両アメリカ大陸に関するあなたの疑問は問題なりません。アフリカ(および南極)をとりまく大洋中央海嶺がいかに広がってゆくかという疑問に多くの人が悩まされてきたのは、次のことが理解されるまでのことだったのです。すなわちもし海嶺自身がその位置から外側へ移動するならば、海嶺直下では上方と外側向きの流れが可能となる、ということです(Wilson 1965b)。

(e) もし流れが起こるとすればそれは岩流圏中かあるいは50~200kmの深さのところにある地震波の低速度層内です(Anderson 1967)。あなたの提起した別の問題は、おもに地質学の主要問題です。あなたの問題がこの新しいアイデアで完全に説明できなかつたとしても、古いアイデアではうたがいがいもなく決して理解できません。またこの問題は巨大でとても長すぎて、ここでは討議できません。Gorsikov および Eaton; Murata (1960) はマグマのいくつかの起源について討論しました。大洋において、火山がその根源から分離し孤立することがある、と私は信じています(Wilson 1963b)。しかしこのような現象は大陸の下では起こらないようです。

(f) 大規模の地質現象は再発するが、サイクルが規則的で普遍的なのか否かの問題は、まだ論争中です。もし大陸移動が岩石圏の板の断裂と相対的な移動に依存して起こつたならば、どんな場所においても大陸移動は断続的に現われるはずですが、なぜならば、岩石圏が破壊され運動してきたその過程に依存するからです。思うに、海盆はくりかえし、開口し、成長し、そして再び閉じたのです(Wilson 印刷中)。一般的にはどの海盆の活動史も同じであるらしく、したがって地質構造運動にサイクルの存在を印象深くするのは、

(g) Schilling (1966) は大洋と大陸において熱流量がほとんど同じという理由についてある説明を与えました。Knopoff VonHerzen およびあなた自身の優秀な同僚 E. A. Lubimova は最近の本(Gaskell 1967)のなかで長々とこの問題を論じています。

(h) これはまた重大な問題を提起しますが、下降する流れの場所になぜ高温域が発見されるかという点について、次のような説明があります。このような高温部では、岩石圏のある1つの板が別の板によってふみつけられ、下へ押しつけられ、熱せられ、そして終りにかなり深い所からアイスタシーによって上昇に転ずる、ということです。

結論として、新しい見方に立っている私たちが、古いデータを信用しないと捨ててしまおうか思っているわけではありません。もしデータが不十分とわかれば、新しい種類のデータに注意を向けたいだけなのです。あなたが新しいデータを大して参考にしないことから

みて、逆に新しいデータがいかに必要かを明らかにしたと思います。けれど、最近の万国地質学会においてあなたの同僚のなかで、ソ連の地球科学者の80%は大陸移動説を認めるようになったと保証してくれる人がいました(たとえば Voronov 1968; Krapotkin 印刷中)。私たちが変えようと思っているのは、データそのものではありません。参考文献の骨組みやデータをみる態度なのです。(2つの科学者グループが一語に渦巻きを研究したとしましょう。そのうち1つのグループは運動しない水の中にいたとすれば、彼らはどんなに沢山のデータを集めてみたところで、渦巻きを決して理解しないでしょう。水が運動することを認めるグループでは、少ないデータでいろんな渦巻きの性質を理解することでしよう)。

地球科学(地質学、地球物理学、地球化学のような)にまつわるトラブルや、予想されたほど地球科学が進歩しなかった理由は、伝統的性格のデータに欠けていたのでも、データの誤りでもなく、むしろ新種の情報に欠けていたり、まったく間違つた方法で地球を眺めているため、と私は考えます。もし本当に地球がゆるい速度をもつたいへん動的な物体であれば、私たちはこれまで地球を本質的には静的とみなしてきたので、大部分の古い理論や本を捨てて、新しい見地に立って、新しい科学をスタートさせる必要があります。

いま地球科学において起こりつつある出来事は、西暦紀元1800年頃の化学進化が導入されたときの生物学、現代物理学が古典にかわつた時の物理学において発生した事件とまったく同じである、と信じています。それは新しいデータではなく、1つの科学上の革命をマークする外観上の変化にしかすぎません。この点、T. S. Kuhn (1964) が実にエレガントにこのことを指摘しています。もし地球科学において、科学上の革命が進行しているならば、これはまたとない感動的な好機会であつて、偉大な復興を期待できますし、この変化に応じて地球に関する全研究を急速に前進させるべきだと思います。

この革命は、以前断片的であつた各支流の研究を統一するでしょう。また、ダイナミックな地球に関する新しく統一された科学に、新しい名称——Geonomy をつけるのにふさわしい、と信じます。

この機会に、私の考えをはっきりさせることができたことを、改めてあなたに感謝いたします。と申しますのも、あなたが私のアイデアをとりあげて攻撃されたことから、この回答ができたので、このことによって私のアイデアは思いがけなく一層注目を受けることに

なつたからです。

(訳者は地質部)

参考文献

1. ウィルソン：地球科学における革命

Y. Belmonte, P. Hirtz & R. Wenger, *Salt basins around Africa*, v. 55—74, (Inst. Petrol., London, 1965).

P. M. S. Blackett, E. C. Bullard & S. K. Runcorn, editors A Symposium on Continental Drift, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, A258, (1965).

R. T. Chamberlin, *Theory of continental drift*, v. 87, (Amer. Assoc. Petrol. Geol., Tulsa, 1928).

R. R. Coats, 'Magma Type and Crustal Structure in the Aleutian Arc', Amer. Geophys. Union, Monog. 6, p. 92—109 (1962).

A. Cox, G. B. Dalrymple & R. R. Doell, 'Reversals in the Earth's Magnetic Field', *Sci. Amer.*, v. 216, p. 44—54 (February, 1967).

Department of Manpower and Immigration, 'Career Outlook, University Graduates', Canada (1966—67).

R. S. Dietz, 'Passive Continents, Spreading Sea Floors and Collapsing Continental Rises', *Amer. J. Sci.*, v. 264, p. 177—193 (1966).

W. M. Elsasser, 'Thermal Structure of the Upper Mantle and Convection', in *Advances in earth science*. Editor, P. M. Hurley (M. I. T. Press, Cambridge, 1966).

W. Hamilton and W. B. Myers, 'Cenozoic Tectonics of the Western United States', *Rev. of Geophysics*, v. 4, p. 509—549 (1966).

B. C. Heezen & M. Ewing in M. N. Hill, *The sea*, v. 3, p. 388—410 (John Wiley, London, 1963).

J. R. Heirtzler, X. Le Pichon & J. J. Baron, 'Magnetic Anomalies over the Reykjanes Ridge', *Deep-sea research*, v. 13, p. 427—433 (1966).

H. H. Hess, 'History of Ocean Basins', in *Petrologic studies*, A. E. J. Engel et al., editors. (Geol. Soc. Amer., New York, 1962), p. 599—620.

A. Holmes, 'Radioactivity and Earth Movements', *Trans. Geol. Soc. Glasgow*, v. 18, p. 599—607 (1928—1929).

I. G. Gass & D. Masson-Smith, 'The Geology and Gravity Anomalies of the Troodos Massif, Cyprus', *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, v. A255, p. 417—467 (1963).

B. Kummel, *History of the Earth*. (W. H. Freeman, San Francisco, 1961).

I. McDougall & F. H. Chamalaun, 'Geomagnetic Polarity Scale of Time', *Nature*, v. 212, p. 1, 415—1, 417 (1966).

B. E. McMahon & D. W. Strangeway, 'Kiaman Magnetic Interval in the Western United States', *Science*, v. 155, p. 1, 012—1, 013 (1967).

L. W. Morley & A. Larochelle, 'Paleomagnetism as a Means of Dating Geological Events', Roy. Soc. Canada, Sp. Pub. 9, 40—51 (1964).

A. C. Munyan, editor, 'Polar Wandering and Continental Drift', Soc. Econ. Paleontol. & Mineral., Sp. Pub. 10, (1964).

D. N. Ninkovitch, N. Opdyke, B. C. Heezen & J. H. Foster, 'Paleomagnetic Stratigraphy—deposition and tephrochronology in North Pacific deep-sea sediments', *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 1, p. 476—492 (1966).

N. D. Opdyke, B. Glass, J. D. Hays & J. Foster, 'Paleomagnetic study of Antarctic Deep-Sea Cores', *Science*, v. 154, p. 349—357 (1966).

E. Orowan, 'Continental Drift and the Origin of Mountains', *Science*, v. 146, p. 1, 003—1, 010 (1961).

A. D. Raff & R. G. Mason, 'Magnetic Survey off the West Coast of North America, 40°N latitude to 52°N latitude', *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 72, p. 1, 267—1, 270.

J. S. Royds, H. L. Thomson & J. W. Strickland. Amer. Assoc. Petrol. Geol. *Bull.*, v. 49, p. 2, 269—2, 287 (1965).

S. K. Runcorn, editor, *Continental drift* (Academic Press, New York, 1962).

R. R. Shrock, *A cooperative plan in geophysical education* (Geophysical Service Inc., Dallas, 1966, 143 p.).

L. R. Sykes, 'Mechanism of Earthquakes and Nature of Faulting on the Mid-Ocean Ridges', *J. Geophysics*, v. 72, p. 2, 131 (1967).

D. C. Tozer, 'Heat Transfer and Convection Currents', *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, v. A258, p. 252—271 (1965).

F. J. Vine, 'Spreading of the Ocean Floor: New Evidence', *Science*, v. 154, p. 1, 405—1, 415 (1966).

F. J. Vine & D. H. Matthews, 'Magnetic Anomalies over Oceanic Ridges', *Nature*, v. 199, p. 947—949 (1963).

F. J. Vine & J. T. Wilson, 'Magnetic Anomalies over a Young Oceanic Ridge off Vancouver Island', *Science*, v. 150, p. 485—489 (1965).

J. T. Wilson, 'Did the Atlantic Ocean Close and then Reopen?' *Nature*, v. 211, p. 676—681 (1966).

J. T. Wilson, 'A New Class of Faults and Their Bearing on Continental Drift', *Nature*, v. 207, p. 343-349 (1965).

2. ベロウソフ: J. T. ウィルソンへの公開質問状

O. Ampferer, *Über das Bewegungsbildung von Faltengebirge*, Austria, Geol. Reichsanst., Jahrb., Bd. 56, Wien (1906).

A. D. Arkhangelsky, *Geological structure and geological history of the USSR*, Gosudarst. Geol. lzd., Moscow (1941). (Russian)

J. de Boer, *Geology of the Vicentinian Alps (NE Italy)*, with special reference to their paleomagnetic history. *Geologica Ultraiectina*, n. 11 (1963).

P. Fourmarier, *Les forces en action dans la genese du relief tectonique*, Soc. Belge d'Etudes geog., *Bull.*, v. 17, n. 1 & 2, p. 20-57 (1947).

H. H. Hess, History of ocean basins, in *Petrologic studies*—a volume in honor of A. F. Buddington, Geol. Soc. Am., New York (1962).

B. D. Loncarevic, C. S. Mason & D. H. Matthews, *Mid-Atlantic ridge near 45° North, I. The median valley*, Canadian Jour. Earth Sciences, v. 3 (1966).

D. H. Matthews, F. J. Vine, & J. R. Cann, *Geology of an area of the Carlsberg ridge, Indian Ocean*, Geol. Soc. Am., *Bull.*, v. 76, n. 6 (1965).

V. A. Obruchev, *A pulsation hypothesis in geotectonics*, Akad. Nauk SSSR lzv., Ser. Geol., n. 1 (1940). (Russian)

M. M. Tetyayev, *The principles of geotectonics*, Gosudarst. Geol. lzd., Moscow (1941). (Russian)

M. A. Ussov, *A geotectonic hypothesis of self-development in the matter of the Earth*, lzv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol. v. 1 (1940). (Russian)

J. T. Wilson, *Evidence from ocean islands suggesting movement in the Earth—a symposium on continental drift*, Phil. Trans. Roy. Soc. London, n. 1088 (1965).

3. ウィルソン: V. V. ベロウソフへの回答

Recent publications:

P. M. S. Blackett, Edward C. Bullard & S. K. Runcorn, editors, *A symposium on continental drift*: Phil. Trans. Royal Soc. London, v. A258, p. 1-323 (1965).

Gerard Piel, editor, *Gondwanaland revisited: new evidence for continental drift*, Proceedings of the American Philosophical Society, v. 112, n. 5, (1968)

E. Takeuchi, S. Uyeda & H. Kanamori, *Debate about the Earth*. Freeman Cooper & Co., San Francisco, 253 p. (1967).

T. S. Kuhn, *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, 172 p. (1964).

In preparation or in press:

Marshall Kay, editor, *Symposium on the North Atlantic area*, Amer. Assoc. Petrol. Geol.

J. Tuzo Wilson, editor, *Symposium on continental drift in the South Atlantic region*, Unesco, Paris.

J. A. Jacobs, R. D. Russell & J. Tuzo Wilson, *Physics and geology*, 2d edition, McGraw-Hill, New York.

参考図書

竹内均・上田誠也(1964):地球の科学 NHKブックス 6
252 p.

ベロウソフ著・多井義郎訳(1965):地球の構造と発達シリーズ
・現代の科学 161 p. 明治図書

井尻正二・湊正雄(1965):地球の歴史(改訂版)岩波新書 554
221 p.

都城秋徳(1965):変成岩と変成帯 458 p. 岩波書店

竹内均・都城秋徳(1965):地球の歴史 NHKブックス 19
235 p.

湊正雄・井尻正二(1966):日本列島 第二版 岩波新書 589
221 p.

島津康男(1966):地球内部物理学 物理学選書 1 394 p.
裳華房

P. M. ハーレイ著・竹内均訳(1967):地球の年令——45億年の
謎——現代の科学 SSS 7 190 p. 河出書房

島津康男(1967):地球の進化 359 p. 岩波書店

坪井忠二(1967):新地震の話 岩波新書 554 210 p.

山下昇(1967):地球科学入門 219 p. 国土社

牛来正夫(1968):地殻・岩石・鉱物 地球科学講座 7 218
p. 共立出版

上田誠也・杉村新(1968):弧状列島 I 科学 vol. 38 no.
2

竹内均監修・読売新聞科学報道本部編(1968):日本列島は生き
ている 230 p. 河出書房

A. ホームス・竹内均訳(1969):一般地質学 I~III (全三巻)
東京大学出版会

星野通平(1969):太平洋の科学 NHKブックス 96 222 p.

佐藤任弘(1969):海底地形学 191 p. ラテイス

竹内均・島津康男(1969):現代地球科学 262 p. 筑摩書房

坪井忠二編(1969):地球の構成 増補版 388 p. 岩波書店

宇田道隆(1969):海 岩波新書 732 242 p.