

# 大陸移動説と寺田寅彦

## 学説の紹介・モデル実験・考察と応用

松尾宗次

### Wegener の大陸移動説

東日本大震災そして近く予想される東海・東南海地震・南海地震などの海溝型巨大地震の話題に上がるとき、その原因として Plate tectonics が語られる(図 1)。現在では中学校理科の授業でも教えられる Plate tectonics ではあるけれど、五十年前の日本の学界ではその先駆けである大陸移動説も受け容れられてはいなかった。筆者自身も高校の地学教師から聞いた大陸移動説に興味を抱き、大学では大陸移動説にもとづく地震の研究を志した。しかし大学では、大陸移動説は拒絶されていた。そのために同じ地学の結晶学を経て冶金学へと進路を変えることになり、今に残念な想いがある。

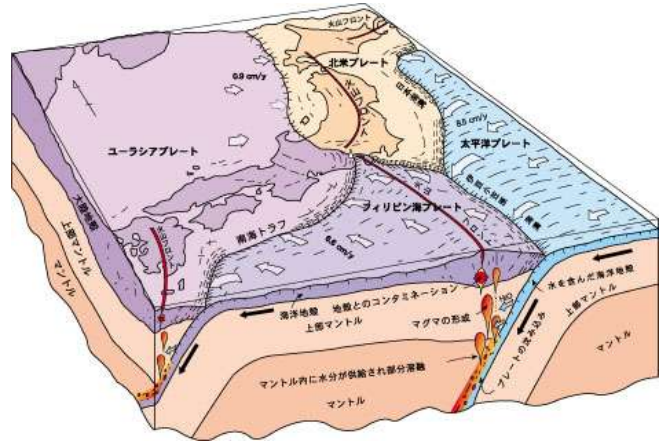


図 1 日本周辺のプレート構造

出典：独立行政法人防災科学技術研究所 HP

このような大陸移動説への拒否反応にも拘らず、既に 1924 年寺田寅彦は大陸移動説の紹介をしている。本文では、寺田による紹介と自らもシミュレーション実験を試みたこと、さらに大陸移動説にもとづく日本海の成因を考えたことを示しておきたい。初めに寺田寅彦が著した大陸移動説に関わる主な著作の題名を挙げておく。

- ① ウェゲナーの大陸移動説 1923 年
- ② Tairiku to Taiyo no Naritachi(ローマ字:大陸と大洋の成り立ち) 1923 年
- ③ *Experiments on the Modes of Deformation of a Layer of Granular Mass Floating on Liquid---Some Application to Geophysical Phenomena* 1928 年
- ④ *On the Stability of Continental Crust* 1934 年
- ⑤ *On Bathymetrical Features of the Japan Sea* 1934 年

初めの二つの和文記事は大陸移動説を紹介したもので、英文記事は大陸移動説にもとづく日本海の成因を論じた論文そして大陸移動を巧みにシミュレートした実験結果を報告したものである。

### 寺田寅彦による大陸移動説の紹介

寺田寅彦は1923年、日本天文学学会において「ウェゲナー大陸移動説」①と題した講演をおこなった。この講演内容は同年7月に発行された雑誌「理学界」に、聴講した記者の筆記記事として、掲載された。その冒頭でAlfred Wegenerによる大陸移動説の始まりを紹介した。

「ドイツのアルフレッド・ウェゲナーという学者は地球の上の各大陸の位置は一定不動のもの

ではなく絶えず移動しているものであるという説を唱えて、世界中の学者の注意をひいている。今その学説を大体説明しようと思う。世界地図を拡げで図の上で、南アメリカを東へずらしてアフリカの西海岸へあてがったとすると、両方の海岸線はぴったりと合うのである。このちょっとした事柄が彼の学説をたてる糸口となったので、彼は地球上のすべての大陸は、池に浮ぶ氷のように地球を包む粘い熔岩の上に浮んでいて長い年月の間にはだんだんに動いて行くのであらうと考えた。この考えによると、従来の学説では説明の困難だった地質学や地球物理学等の色々な問題が容易く説明されるのである。彼がこの考えを起したのは1910年で、1915年に初めて書物として出版した。昨1922年にはその第三版を出している」。このアフリカ大陸と南米大陸の海岸線の様子は図2にある切手に示されている。



図2 Wegenerの大陸移動説

これに続いて、学説の概要を述べている。前記①と②の記事をもとに寺田の解釈を紹介する。また予備知識として、地震波の伝播から知られた地球の内部構造を図3に示した。地殻の表面部は、主にSiとAlからなる花崗岩質の軽い表面のsial層とその下に少し重い玄武岩質の主にSiとMgからなるsima層があること、そして地殻はその下のマントルの上に浮いていることを認める。さらにこのような比重の異なる物質の構造は、図3下のようにアルキメデスの原理によるアイソスタシー(静水圧平衡)のために、高い山塊はマントル内部により深く沈降している。

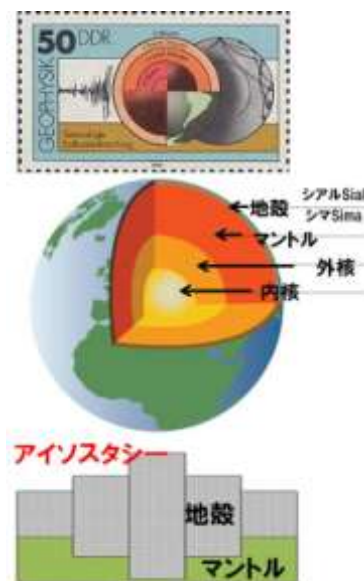


図3 地球の内部構造

**Wegenerの考えと寺田の説明:**大陸移動に類似した考え説は昔からあった。Wegenerの大陸移動説は、様々な当時最新の学問資料を元に構築されたもので、彼以前の説とは詳細度や学術的正確性などがはつきり異なったものであり、明確に「大陸移動(continental drift)」という言葉を使ったのもウェゲナーが最初であった。寺田は、Wegenerの大陸移動説によって「従来の学説では説明の困難だった地質学や地球物理学等の色々な問題が容易く説明されるのである」と、測地学・地質学・古生物学・古気候学・地球物理学などの根拠を示した。そして「海底をなしているシマは硬い岩石のような抵抗を持っているが、長い間絶えず続いて働く力には負け、次第に歪み流れてゆくものと考えられる・・・かようにシマが粘性を持っているために、その上をシアルの板が動く事が出来、また地球の両極が変る事もできるのである」。

ここで地球磁極の変化に言及されていることは、後に海底地磁気の変動が大陸移動説受容の決め手となる事実を照らして、大変興味深い。そして大陸移動の結果「今のマダガスカルまで出っ



図4 ヒマラヤ山脈の隆起・褶曲と  
発見された化石(左下)

張っていたインドが北の方へ縮まった。その時出来た皺がヒマラヤ山脈となった。これが大陸とともにまた南におさされて動いた時に、シアルの底の深い所に出っ張った部分が熔けて山脈の後側の下にもぐってこれをおし上げ、そしてチベット高原を作った」と世界の最高峰ヒマラヤ山脈の成因が説明され、さらに日本列島の成り立ちについて「アジア大陸が西へ動いて行く時、その東の縁が紐のようにちぎれて後に取り残された。それがアリューシャン、千島、日本、琉球

等の列島となった。はじめアジアの東側に平行してシアルの離があったのが、その後北と南からおされて波のような形に曲がりへその端がちぎれて弓なりに残されたものである」と敷衍している。この考えは、後述の日本海の成因につながっていく。

**Wegenerの考えた大陸移動の歴史：**図5はWegenerが考えた大陸移動の歴史である。原始の地球で陸地は一つ、それをギリシャ語で「すべての陸地」を意味する “Pangea” と命名した。その大陸が六つの大陸に分裂、長い時間をかけて移動して現在のような配置になったのである。その様子を簡単に説明しておく。

超大陸 Pangea は約2億年前に、現代の地中海に対応する、Tethys海を挟んで Laurasia大陸と Gondwana大陸が生成された。Laurasia大陸からはユーラシア大陸と北米大陸が形成されていく。Gondwana大陸は、現在のアフリカ、南米、インド、南極、オーストラリアなどの大陸、その他アラビア半島、マダガスカル島を含んだ大きな超大陸であった。そこからインド大陸（現在のインド半島）が切り離されて北上してユーラシア大陸に衝突、隆起した場所がヒマラヤ山脈を形成した。ヒマラヤ山脈の山頂付近には海底堆積物と思われる地層が激しく褶曲していることが知られている。この地層からは、赤道付近にあった Tethys海に由来する海洋生物の化石が多数発見されている。Tethys海はアフリカ大陸とユーラシア大陸が接近して消滅、その名残りがカスピ海、黒海と考えられている。アフリカ大陸とユーラシア大陸の衝突

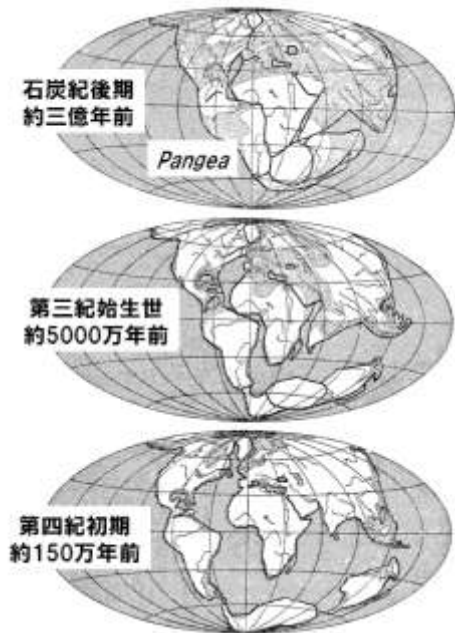


図5 Wegenerによる大陸分裂と移動  
出典:Wegener 著『大陸と大洋の起源』



図6 南極大陸から見た大陸移動の歴史

による褶曲はアルプスを生んだ。図 6 は南極大陸を視点に描いた大陸移動の歴史を描いた英国領南極地域発行の切手である。

**Wegenerの大陸移動説の難点**：Wegenerによって提唱された大陸移動説受容の最大の障害となったのは、「大陸が移動するための機構・力が何であるか説明できない」ことだった。この問題に対するWegenerは「シアルの重心に働く重力と、シマの中に入っているシアルの部分の重心に働く浮力とが少し方向が違ふ。そのためにシアルは赤道の方へおされるような力を受けている。この力のためにおこる運動はまた地球の自転の影響をうけて西の方へ向けられる。また一方では太陽と月とのためにおこる地殻の潮汐現象のために、やはり西の方に陸地を動かす力が起る訳になっている。大陸が動けばその結果として地軸の位置が変り、これはまた大陸の移動を起す原因となる」と考えていた。

### 寺田寅彦の大陸移動シミュレーション

寺田寅彦は大陸移動を単純で巧妙なモデル実験によってシミュレートしようとした。寺田の研究室において実験を担当したのは高橋浩一郎(後に第五代気象庁長官)、そして宮部直巳(地震研究所・後に名古屋大学教授)であった。

寺田門下の研究者たちが記した回想記『科学者寺田寅彦』の中の一章「寺田物理学を学ぶ」において、高橋は次のように「大陸移動のモデル実験」を記している。

「平らな箱に水または水飴を入れ、その上に細かい砂とかお白粉、うどん粉のような粉体の層を浮かべる。粉は地殻を代表し、液体は地殻の浮かんでいるシマ層を表わすと考える。箱の底には板があり、それを動かすと液体が流れ、粉が動いて行く。これが大陸の移動に対応する。これを実際にやってみると粉の層はいくつかの細長いブロックにわかれ、条件如何によっては、日本列島とよく似た形となる。・・・このようにシマの代表として水や水飴、地殻の代表としてお白粉やうどん粉を用いたのは、理由がある。地殻を構成している岩石は固体で会あって非常に丈夫なものであるが、大陸移動のように、空間的にも、時間的にもスケールの大きい現象では、体積力が表面力より相対的に非常に大きいので、固体でも粘性流体と同じような挙動をするようになる。そしてこのようなモデル実験をするには、相似則を考える必要があり、水飴や粉を用いると丁度よくなるのである。水飴や粉などを用いるのは、一見如何にも奇を狙っているように見えるが、決してそうではない、それにはそれなりの理由があるのである・・・地殻の如き大規模の弾性体に関する問題に於いては、弾力に対して重力の効果が重大な

影響をもつ事となり、普通実験室に於けるが如き小規模の物体に於けるとは全然異なった取扱が必要となるのは明白である。例えば三寸角の豆腐はその形を保つ事が出来ても、一里四方の豆腐は自分自身の重みで崩壊する外はない。重力による地殻の変動の小規模なモデルとしては、弾性

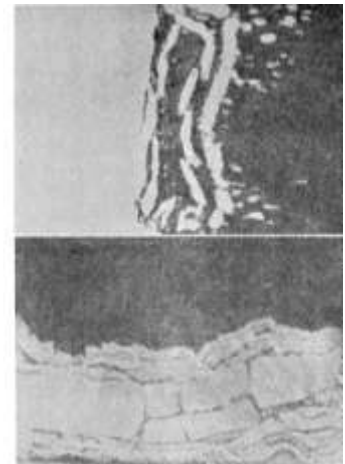


図 7 大陸モデル実験の例  
粉状物質の分裂と移動

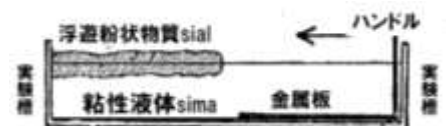


図 8 大陸移動のモデル実験装置

限の小さい物質を選ぶ方が妥当であることは了解される」。図7は、この実験で観察された粉状物質の分裂と移動の状況を示す。

宮部直巳による実験結果は「液面に浮かぶ粉状物質の層の変形に関する実験並びに地球物理学上に於ける類似現象」として東大地震研究所彙報に報告された。この論文には高橋の実験と同様な手造り実験装置が用いられ、その図が載っている(図8)。このモデル地殻の縁辺に張力の働く場合、下層の液体が一方に流動する場合、垂直線が地殻に対して傾いている場合について観察した。その結果、粉の性状、液の性質、力の加え方により粉層の変形、破壊の様式が様々に変化することを観察、その様子が実在の地殻に類似した形態が出現、アジア大陸周縁の島列と同様な周期的帯状配列が生じることも認めた。このような観察は、後述の日本海成因論へとつながっていった。

### 寺田寅彦による大陸移動の考察

寺田寅彦は、亡くなる前年に、「大陸地殻の安定度に就いて(On the Stability of Continental Crust)」を書いた。この論文について、鈴木堯士高知大学名誉教授は著書『寺田寅彦の地球観』において、極め付きの名著と高く評価し、この論文で使われた語句からは現代の「プレート論」を1930年代に認識していた感を深くすると述べている。

寺田は「ウェゲナーの仮説で仮想されるようにシアル大陸がシマの海に浮かんでいると考えた場合に、板状の大陸塊が絶対的に安定であるかどうか考えてみると、必ずしもそうではないがあり得る」として考察を進める。大陸塊は、もし地球内部の引力がなければ、位置のエネルギーを最少にするように球形になろうとする。しかし集積するためには、それにとまなう大陸の重心が高まり位置のエネルギーが増加するので、板状大陸は安定であり得る。しかし大陸塊が浮いているとすれば、陸地部と陸地のない部分では、その下部のある深さのところの重力に差がある。そのために対流が起こる可能性がある。

その結果、シアル層の割れ目の下部にシマが上昇し、上部では遠心的そして下部では求心的な水平移動が生じる。この上部層の流れは、浮かんでいる大陸を水平方向に引きずっていく。そして既に開いたところを拡大する。このようにして造山力を生み、大陸周縁部に海溝をつくることになる。このように寺田は、熱的および重力的に対流循環が進むであろうと考えた。大陸の縁部で水平方向に働く力は大きく、摺曲作用を起こすことになる。これによって環太平洋の山脈形成が説明される。また大陸縁部の水平力は太平洋岸の方が大西洋側よりも大きいと考えられ、大西洋側に沿って摺曲山脈の発達が弱い」と考えた。「さらに大洋底から大陸縁に向かってシマの流れあれば、海岸縁の前方のシマ表面部は下方に引きずり込まれて沈み込み帯を形成することが考えられる。そこで環太平洋山脈の前方には多数の海溝ができるであろう」と指摘した。ここに示された見解は現代のPlate tectonics論の本質を見抜き、先見性がうかがえる。

この論文の末尾において、「地球物理と地質学の基本的な問題に関わる重要なことでありながら未だ正当に調べられているとは思えないので注意を喚起する目的で記した」ものであると述べている。大陸移動説は寺田の生きた時代の後、長い間容認されず、とくに日本では地質学者などに無視された。20世紀後半になって、大陸移動説はマントル内の対流循環とその証拠となる海底拡大を物語る海底の古磁気研究によって復活することになった。

寺田寅彦は対流現象に強い興味をもっていたことは、湯の中を動く小さな糸くずの観察を描いた「茶わんの湯」などの随筆に示されている。そこから地球規模の物質の流れへと連想を進めたところに寺田物理学の真髓が垣間見られる。

### 寺田寅彦の大陸移動説の応用—日本海の成因

寺田は1934年、地震研究所彙報において「日本海々底の形態」(“On Bathymetrical Features of the Japan Sea”)を論じた。「日本島列がもしも往古大陸から分離したものであるというウェゲナーの考えが正しいと仮定すれば、現在の日本を逆に大陸に押し付ければ、ある程度うまく間隙なく接合されねばならない。そういう復旧変形をするには先ず朝鮮半島をその根元近い或点を回転軸として時計の針の方向に回転させねばならない。これは黄海というものの存在によって仮に許容されるにしても、残る一つの問題は、朝鮮の舞水端から雄基湾を経て、アムール湾、ウスリー湾、アメリカ湾までを包括する梯形の海岸線凹入が一つの充填し難い空隙となる事実である」と問題を挙げ、「ところが、日本海の中央部には従来著しい浅瀬あるいは「堆」のあることが知られており、近頃その全貌がやや明らかにされてきているので、この堆を作る物質が上記の空隙に相当するものではないかという想像が起こし得られる。それで、

此の考えが如何なる程度まで都合よく行くか見るために、試みに、日本海の各横断面の面積をその縦軸上に配列してみた。もしその分布が平滑な曲線で示されるならば、上の想像が幾分有利になる筈である。そういう吟味を行った結果は上記の仮説に好都合とみられるようなものであった。すなわち海の横幅や各断面の平均の深さが海の軸に沿って不規則な分布を示すのである。このような考えから、寺田の描いた日本海拡大像を図に示した。

もっともこれだけではウェゲナー流の考えが正しいことの証拠にならないことは勿論であるが、しかしこの学説を吟味する際の一つの有力な与件にはなるであろう。ついでに、リヒトホーフェンの段階的陥没説や、その他一般の陥没説では日本海々底の形態を説明するのに根本的な困難があると思われる」と結んでいる。

現在、寺田の日本海成因の考えは基本的に正しいと認められている。地震そして地質学の関心の主体は太平洋側に傾いている。しかし日本海の成因に関連する日本海東縁変動帯と呼ばれる地質構造的に問題のある日本海は、柏崎刈羽や敦賀・美浜などの原子力発電所の安全性そして新潟や秋田の石油などの地下資源のことなど重要な問題が残っていることを忘れてはならないであろう。

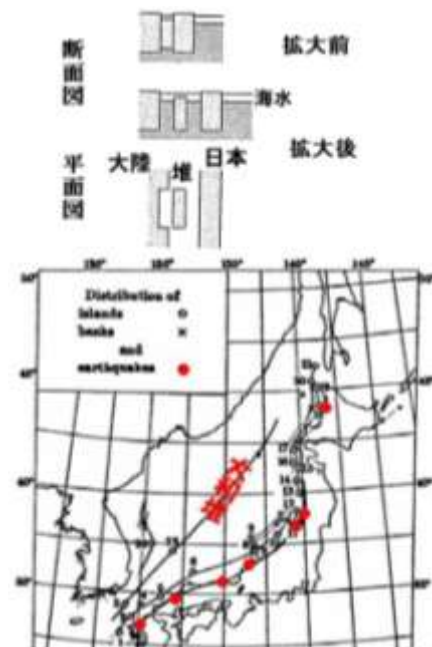


図9 寺田寅彦の日本海拡大論

## おわりに

寺田寅彦は逸早く大陸移動説の優れた内容を理解し、その紹介に努めるとともに、巧みなモデル実験によって大陸移動のシミュレーションをおこなった。そのような観察から大陸移動の可能性を確信し、大陸移動のメカニズムに考察を進めた。寺田が示唆した地球内部の対流説は、現代のPlate tectonics論につながる先見性に富んでいた。さらに寺田は日本海の成因を、大陸移動説にもとづき説明を試み、その考えは基本的に正しいことが認められている。

大陸移動説は日本の学界では長く受容されなかった。とくに地質学の研究者の一部では拒絶反応が強かった。パラダイム転換をともなう新しい考えの受け容れが難航した経緯と理由の解明から、日本の学界の一面が浮き彫りされるであろう。