

サイエンスの舞台裏

—消えたフェニックスプレートの謎—^{*}

高橋雅紀¹⁾

*日本地質学会第118年学術大会・日本鉱物科学会2011年年会合同学術大会にて講演

1. はじめに

前回の「サイエンスの舞台裏 - カリフォルニア湾の作り方 -」(高橋, 2017)は, 2010年の春に開催された日本地球惑星科学連合大会で講演した内容の一部である。その頃から, 私の研究スタイルが大きく変貌した。思考実験を基軸とし, 因果関係の紐解きをサポートするためアナログ模型を作るスタイルに変わったのである。それまでは, 山に調査に出かけて岩石試料を採取し, 実験室で分析してはデジタルデータに変換してグラフ化し, 何らかの考察を加えて論文にまとめる。それは私に限らず, 自然を研究対象とする研究者にとってはごく当たり前の研究スタイルであり, がんばった分だけ論文が量産できる。40歳までの私は, ひたすら研究をがんばっていた。楽しくないわけではないが, 定年までこれを続けていいのだろうかという疑問に思うことも少なくなかった。

アナログ模型が日本列島の地殻変動の原因を再現し, 私は偶然その場に立ち会っていた。だから, その瞬間は自分が解いたという感覚ではなかった。その後, 動く模型が意味することを丁寧に考え, 論理的に因果関係を解説し, 原因から結果までの構造を組み上げた(Takahashi, 2017)。この経験以降, ひたすらがんばってデータを取得し論文化するそれまでの研究スタイルを止め, 自然現象の因果関係を思考実験から紐解く研究スタイルに移行したのである。論文を安定して量産できないことは覚悟したが, かといって思考実験だけで未解決の難問を解くことができる自信も全くなかった。今回は, そのような不安の中で紐解いた, 「カリフォルニア湾の作り方」の続編をお話したい。

2. 消えたフェニックスプレート

本題に入る前に, 海洋プレートの誕生から成長過程を確認しておこう。第1図に, 大陸が分裂して, その間に海洋底が広がっていく様子を示す。大陸が離れていくと, その隙間を埋めるように地下からマグマが上がってくる。

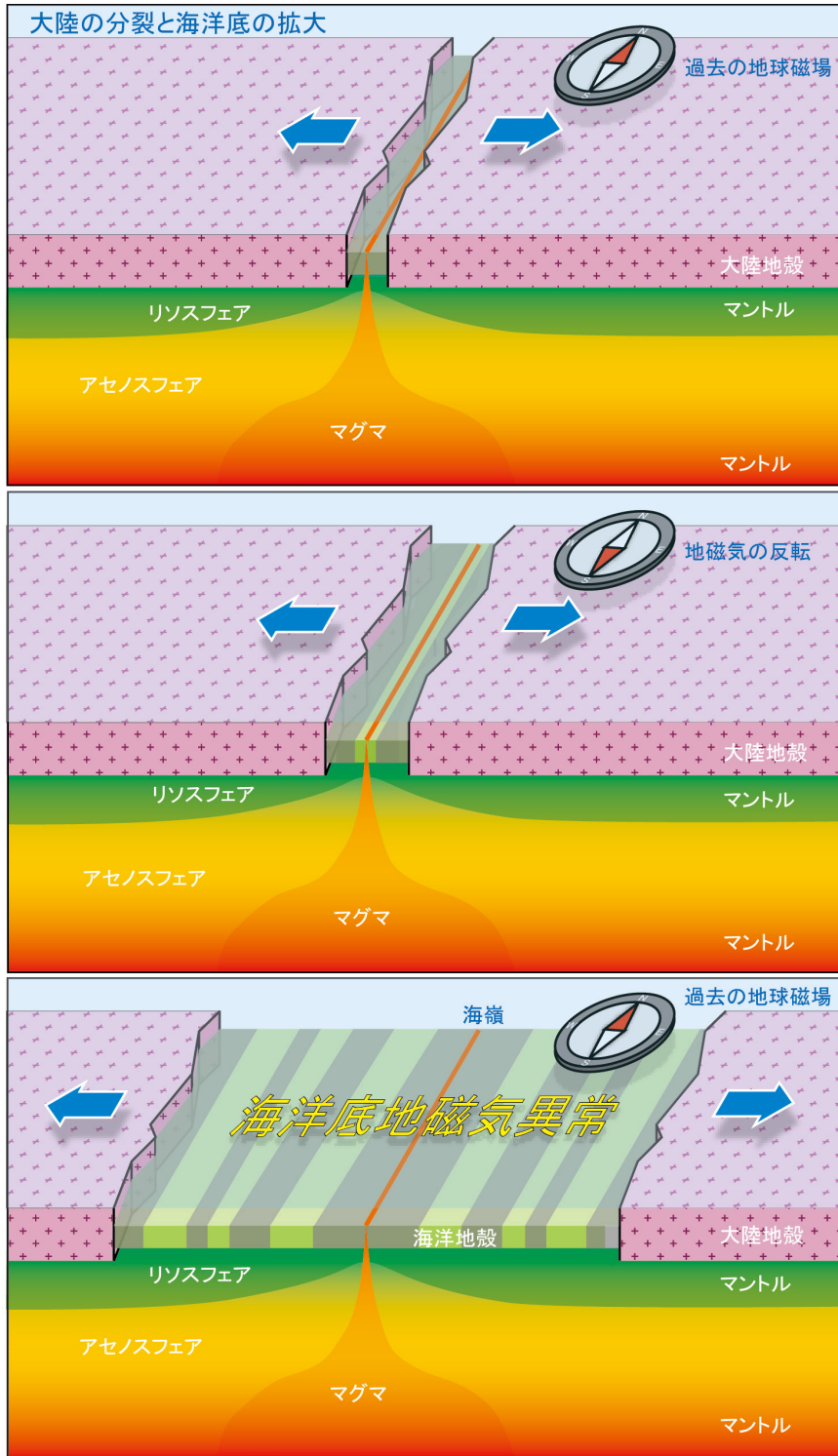
そして, 海水に冷やされたマグマは固結して海洋地殻(oceanic crust)となる。海洋地殻の厚さは数km程度であるが, その地下には高温のマントル(mantle)があり, マントルの上層部も冷えて固くなる。この固くなったマントルをリソスフェア(lithosphere)といい, 一方, 部分溶融して軟らかくなり, 流動性がある部分をアセノスフェア(asthenosphere)という。熱したフライパンの上をバターが滑るように, 固いリソスフェアは薄い地殻を乗せたまま, アセノスフェアの上を滑っていく。この地球表層を移動する厚さが数十kmの殻状の部分がプレートである。地球の表面は十数枚のプレートに覆われていて, それらが相互に移動するために, プレート境界に沿って様々な地学現象が生じる。

海洋底が拡大している場所を海嶺(ridge)という。海嶺では, プレートは形成直後なのでまだ薄い。両側に移動していくプレートは時間とともに地下深くまで冷却が進行するので徐々に厚くなる。海嶺から遠いプレートほど長く冷却されているのでより厚くなる。冷却してできたプレートはアセノスフェアよりも密度が大きい(重い)ので, 海底も海嶺から離れるほど深くなる。プレートの厚さは冷却時間を反映し, さらに海底の深さもプレートの厚さを反映するので, どちらも海洋底の年齢(t)が増えるほど大きくなる。いわゆるルート t 則と呼ばれる関係式に表されるように, プレートの厚さも海底の深さも, 海洋底の年齢(t)の平方根に比例して大きくなる。その結果, プレートがまだ薄い拡大軸では海底が盛り上がり海嶺となり, 拡大軸から離れるほど海洋底は深くなっていく。中央海嶺を中軸に東西に深くなる大西洋の海底地形はその典型である。

さて, 海洋プレートは海嶺で形成され, 海嶺を対象に両側に海洋底が広がっていくが, 海洋底にはもうひとつ重要な情報が描き込まれていく。海嶺で海洋底が形成されたとき, 当時の地球磁場の向きを海洋地殻が記録する。この地球磁場は, 地球史において頻りに反転したことが知られている。現在は方位磁石の針は北を指すが, 80万年前には針が南を指していた。この地磁気の反転は汎地球規模で起

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード: 思考実験, テクトニクス, 海嶺沈み込み, フェニックスプレート

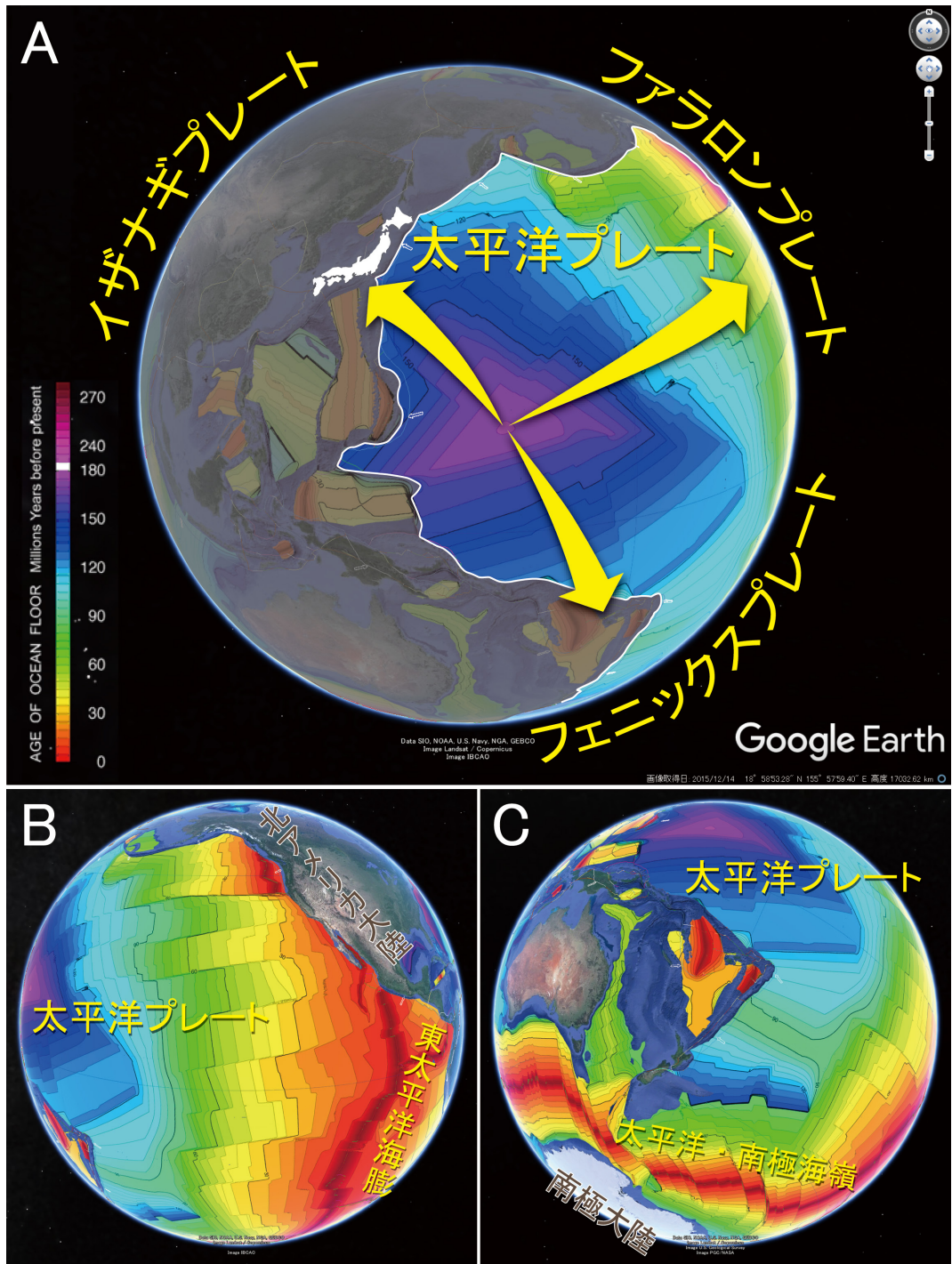


第1図 大陸の分裂と海洋底地磁気異常の形成過程の概念図.

このため、同じ時期に形成された海洋底には、同じ極性の地磁気が記録される。海洋底に堆積した地層の微化石年代と海洋底に記録されている地磁気の記録、すなわち海洋底地磁気異常を組み合わせることで、世界中の海洋底がいつ誕生したのかが明らかにされている。第2図は海洋底の形成年代を色分けしたもので、それぞれの色はその海

洋底が海嶺にあったタイミングを表している。

ここで、第2図のAを見ると、ジュラ紀(紫色)から白亜紀(青色)に形成された太平洋プレート(Pacific Plate)は、おおよそ三角形の形を保ちながら拡大してきたことが分かる。すなわち、黄色い矢印で示すように、現在の配置でみると、日本に向かう北西向きと北アメリカ大陸に向か



第2図 海洋底の形成年代図。プリンストン大学の Laurel Goodell 氏による【Seafloor age 5 my isochrons (KMZ File 9.6 MB Aug.14 2014)】ファイル(下記)を Google Earth に重ねて表示した画像に文字等を加筆して作成。
https://serc.carleton.edu/sp/library/google_earth/examples/49004.html (2017年12月1日 確認)

う東向き、さらに南極大陸に向かう南向きに拡大していった。もちろん、太平洋プレートが拡大していたのは現在の場所ではない。ハワイ-天皇海山列の各海山を、ハワイのホットスポットの位置に順次戻せば、白亜紀には太平洋プレートが南米大陸の西方沖で拡大していたことが復元される。現在、その場所には東太平洋海嶺があり、そこでは海

嶺に囲まれた海洋プレートの卵が誕生し始めている。

ところで、新たに形成される海洋底は、海嶺の両側におおよそ左右対称に作られる。したがって、太平洋プレートの核の部分に見られる三角形の海洋底が作られている時、太平洋プレートの周囲には少なくとも3本の海嶺が存在し、またそれらの海嶺の反対側には、太平洋プレートと

対称に成長する海洋底が形成されていたはずである。言い換えるならば、ジュラ紀の始めに誕生した太平洋プレートの周囲には、少なくとも3つの海洋プレートが存在していた。そして、太平洋プレートが成長し続けている間も、それらの海洋プレートは、同じように成長し続けていた。それらのうち、北西に成長していたプレートをイザナギプレート (Izanagi Plate)、東に成長していたプレートをファラロンプレート (Farallon Plate)、そして南に成長していたプレートをフェニックスプレート (Phoenix Plate) という。

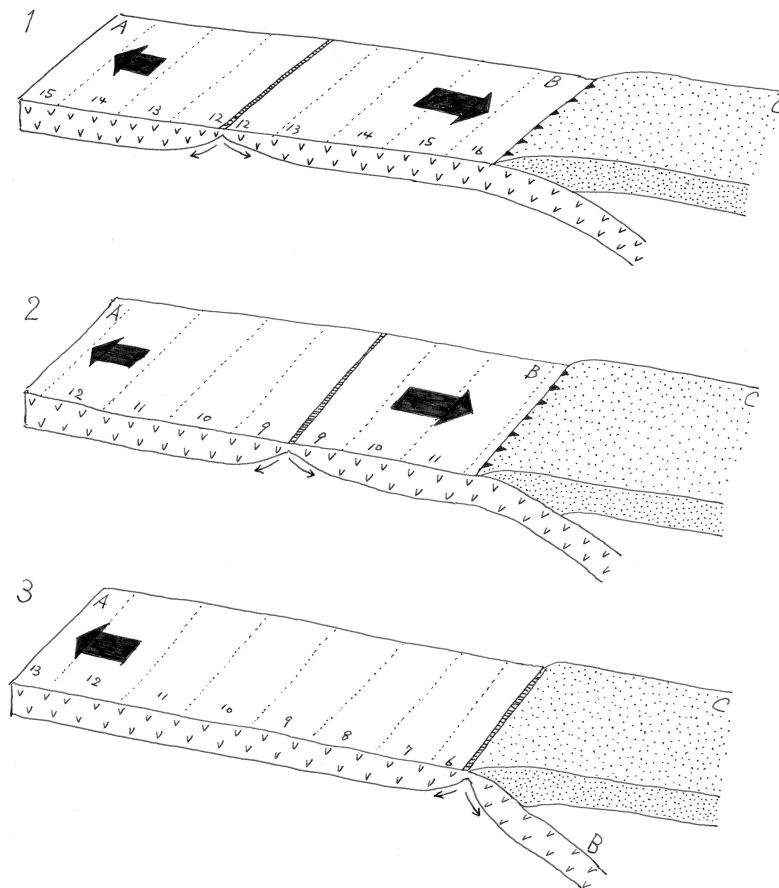
イザナギプレートは太平洋プレートとの間の海嶺とともに、日本海溝や伊豆-小笠原海溝などから沈み込んで消滅した。ファラロンプレートは太平洋プレートとともに東太平洋海膨によって生産されてきたが、その大部分は北アメリカ大陸西縁の海溝から沈み込んでしまい、一部がファンデフカプレート (Juan de Fuca Plate) やココスプレート (Cocos Plate) として地球上に残されているのみである。2億年を超える年齢の海洋プレートが存在しないのは、海洋プレートが海溝から沈み込んで消滅してしまうためで、

周囲の海洋プレートが消滅したお陰で、太平洋プレートは広大な面積が現在でも残っていると考える。

ここで問題となるのが、もうひとつのプレートであるフェニックスプレートである。フェニックスプレートは太平洋プレートの南に成長した海洋プレートであるが、南側の南極大陸との間には海嶺 (太平洋・南極海嶺) があって海溝がない。海嶺は海洋プレートを生産する場所で、一方、海溝は海洋プレートを消去する場所である。現在、太平洋・南極海嶺と南極大陸の間には白亜紀末期以降に形成された海洋底が広がり、ジュラ紀には存在していたはずのフェニックスプレートが見当たらない。フェニックスプレートを消滅させた海溝すら存在しないのである。これが、消えたフェニックスプレートの謎である。このパラドックスを、思考実験で紐解いてみよう。

3. 思考実験

第3図のように、左右に拡大する2つの海洋プレートA (太平洋プレート) とB (フェニックスプレート) を仮定



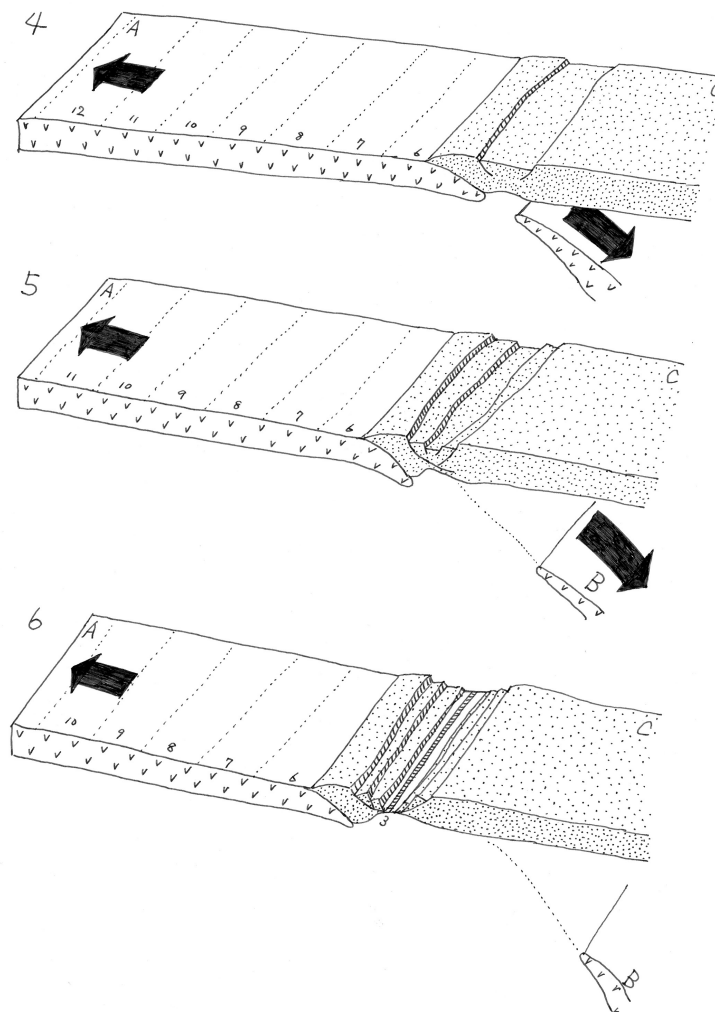
第3図 拡大しながら海溝に向かって移動する海嶺に関する思考実験。

し、右に移動する海洋プレート B (フェニックスプレート) が大陸プレート C (南極プレート) の下に沈み込んでいるとする。前回 (高橋, 2017) と同様に大陸プレート C (南極プレート) を固定し、また図の左側を北として考えよう。すなわち、東西方向の海嶺を境に北に移動する太平洋プレート A と南に移動するフェニックスプレート B が拡大し、さらにフェニックスプレート B がその南側にある南極プレート C の下に沈み込んでいるとする。フェニックスプレート B と南極プレート C の境界はもちろん海溝で、海嶺と平行に東西方向に続いているとする。そして、太平洋プレート A よりもフェニックスプレート B の方が、速度が大きいとする。

太平洋プレート A とフェニックスプレート B は南北に離れていくので、海嶺は東西方向になる。また、海嶺の両側には、両海洋プレートの相対運動の半分の速度 (海嶺片側拡大速度) で海洋底が付加されていく (第 3 図の 1)。一方、フェニックスプレート B の速度は太平洋プレート A

の速度よりも大きく、その結果、海嶺片側拡大速度よりも大きいので、海嶺は徐々に南極プレート C に向かって移動していく (第 3 図の 2)。そして、ついに、海嶺は海溝に到達する。この瞬間、フェニックスプレート B は消滅する (第 3 図の 3)。

拡大中の海嶺が完全に沈み込むと、それまではフェニックスプレート B が沈み込んでいた南極プレート C との境界 (海溝) は、今度は太平洋プレート A と南極プレート C の境界となる。固定系である南極プレート C に対して太平洋プレート A は北に移動しているので、両者の境界は発散境界となる (第 4 図の 4)。それまでフェニックスプレート B の沈み込みによって、大陸プレートの縁には火山帯が形成されているので、新たな発散境界に移行すると熱的に変形しやすい火山帯に沿って伸張変形であるリフト帯が形成される (第 4 図の 5)。そして、大陸縁が完全に伸張破断 (ブレイクアップ) すると新たな海嶺が誕生し、南極大陸縁は非活動的大陸縁 (passive margin) に移行す



第 4 図 拡大しながら海溝に沈み込む海嶺に関する思考実験.

る。そして、太平洋プレート A は、大陸縁の地殻を載せたまま南極プレート C から遠ざかっていく (第 4 図の 6)。

新たに発生した海嶺の両側には、太平洋プレートの速度の半分で海洋底地殻が付け加わっていく。そのため、海嶺は片側拡大速度で南極大陸 C から遠ざかっていく (第 5 図の 7)。ところで、それまでの海洋底の成長には、太平洋プレート A の速度分にフェニックスプレート B の速度分が加算されていたが、新たな海嶺では太平洋プレート A の速度分しか海洋底は形成されない。このように、プレート運動が一様であっても、海洋底の拡大速度 (生産速度) は大きく減少することがあり得る。すなわち、海洋底地磁気異常から計算される海洋底拡大速度が変化していたとしても、海洋プレートそのものの速度が変化したと一義的に結論づけることはできない。

また、大陸縁でリフトが形成されている間は新たな海洋底は形成されていないので、剥ぎ取られた大陸塊の両側の海洋底の年齢は異なると予想される。そして、大陸塊の両側の海洋底は、南極大陸側では海嶺に向かって年代が新しくなるが、反対側に接している海洋底は沖に向かって年代が古くなる (第 5 図の 8)。

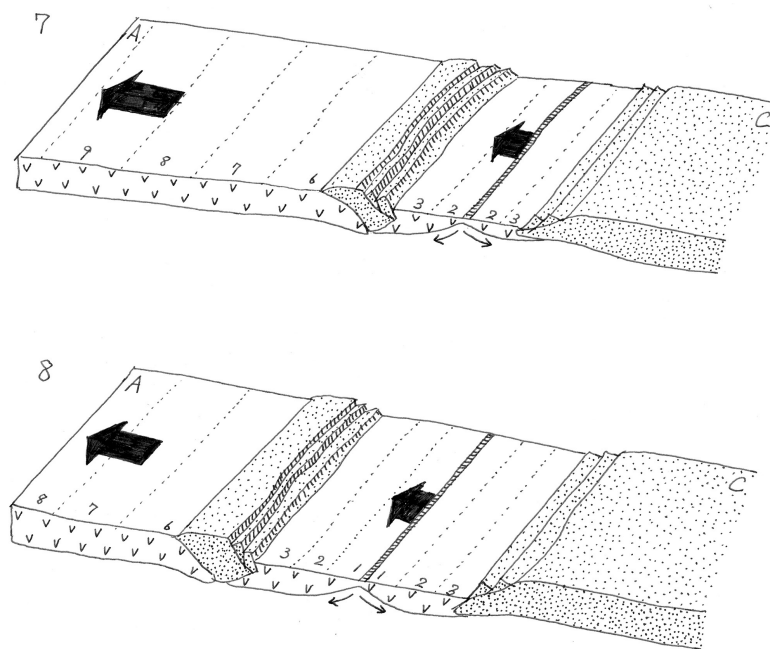
このようにして新たな海嶺の拡大が続くと、南極大陸 C から遠く離れた海洋上に、大陸地殻の塊が孤立して存在することがあり得る。そして、この大陸地殻の塊は、周囲の海洋底の年代よりもずっと古いはずである。太平洋に孤立

して存在するニュージーランドは、このように形成されたと考えられる (第 6 図)。さらに、大東諸島の周辺海域からドレッジ調査によって採取される白亜紀の花崗岩基盤 (大陸地殻) が、ずっと新しい古第三紀に形成された西フィリピン海盆の海洋底に囲まれているパラドックスも、海嶺の沈み込みに伴う大陸縁の分裂・移動モデルによって説明することが可能である。

太平洋・南極海嶺が拡大し始めたのは海洋底地磁気異常の Anomaly 32 ないし 33 頃、すなわち白亜紀後期の 7000 ~ 8000 万年前である。したがって、フェニックスプレートは白亜紀の終わりに消滅したと考えられる。

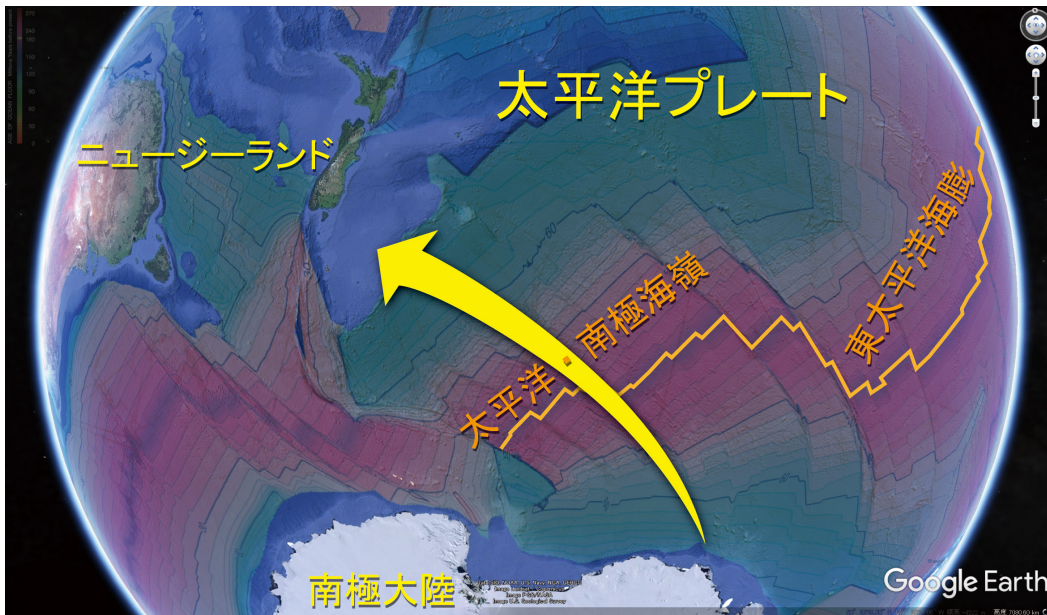
4. おわりに

昨今の自然科学界 (academy of natural science) は過剰な専門化が進行してしまい、そもそも何を目的として研究を進めているのだろうかという疑問に思うことも少なくない。研究者が某かの専門家として自立することは大切で、その専門分野を深く追求することも、研究者の姿勢としては正しいと思う。しかしながら、専門の奥深くまで入り込み、周囲の関連分野と自身の研究との関係について無頓着になり、ついには専門性を隠れ蓑にしているのではないかと感じるのは私だけだろうか。何かの専門家になるということは、他の分野については素人であることを意味する。専門



2010年2月1日 高橋雅紀

第 5 図 拡大しながら海溝に沈み込んだ海嶺に関する思考実験。



第6図 白亜紀末に南極大陸から分裂・移動したニュージーランド南島。プリンストン大学の Laurel Goodell 氏による【Seafloor age 5 my isochrons】ファイル Google Earth に重ねて表示した画像に文字等を加筆して作成。

家は専門分野の中では居心地がよいが、隣の分野に出かけると、全くの素人から始めるので居心地がわるい。その結果、極端な専門分野の細分化がますます加速しているのではないかと思われる。昨今の業績至上主義は、その動きに拍車をかけていると思う。

研究に対するモチベーション(動機付け)は人それぞれで、研究の目的も研究者の数だけ存在することは自然だと思う。だから、研究者を何らかの外圧でコントロールすることは研究者にとって不幸であるし、長期的には日本にとってもよいことではないと思う。研究者が自らの自由意思で生き生きと研究しなければ、“目から鱗”のすばらしい発見や新たな視点など見出せないだろう。多様な考え、多様な興味、多様な研究スタイルが予想もしなかった大発見に繋がるのは、大勢で1カ所をくまなく探すよりも、好奇心の赴くまま各人がバラバラになって探した方が、宝物

を探し当てる確率が高くなることから容易に予想がつく。

日本の科学界が“一番(number one)”を目指すのか“唯一(only one)”を目指すのか、そろそろ覚悟して考え直す時期ではなかろうか。技術進歩が著しい昨今、最先端とかけ離れたアナログ模型や古典的な紙と鉛筆による思考実験でも、サイエンスは十分楽しめるし、新しいアイデアや視点を生み出すことも不可能ではないのだから。

文献

- 高橋雅紀(2017) サイエンスの舞台裏-カリフォルニア湾の作り方-。GSJ地質ニュース, 6, 181-189.
- Takahashi, M. (2017) The cause of the east-west contraction of Northeast Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 64, 155-161.



高橋雅紀(たかはし まさき)

群馬県出身。1990年に東北大学で博士号を取得後、1992年に地質調査所(現産総研)に入所。地域地質学を基本にグローバルテクトニクスを研究。座右の銘は「Glocal」。左は2004年のWPGMの際に訪れたハワイ大学で、GMT(Generic Mapping Tools)を開発したポールベッセル氏との記念写真。

URL: <https://staff.aist.go.jp/msk.takahashi/>

TAKAHASHI Masaki (2017) The back stage of the science -Mystery of disappeared Phoenix Plate-.

(受付:2017年8月22日)