

東西日本の地質学的境界【第九話】

幻の利根川構造線

高橋雅紀¹⁾

1. 新第三系の不連続

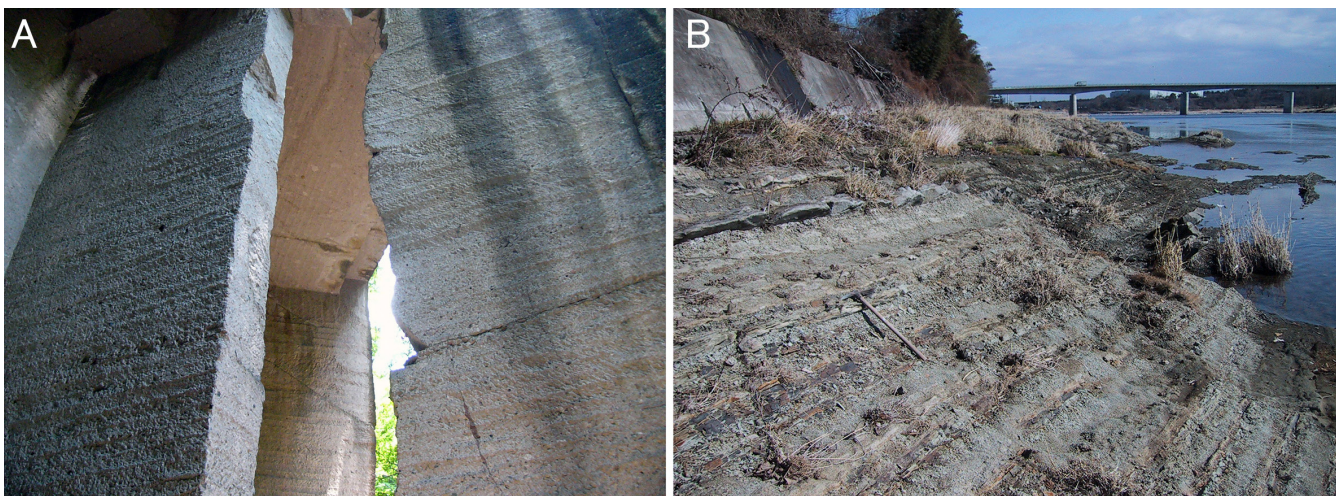
日本海の拡大前には、東北日本弧と西南日本弧の火山フロントが連続して繋がっていたはずである。しかしながら、現在では太平洋側に続く東北日本弧の当時の火山フロントは、糸魚川-静岡構造線を越えると日本海側に大きくずれている。本州の海岸線は東北日本と西南日本で繋がっているが、日本海拡大前の陸弧は大きく分断されている。したがって、両者を切断する大断層が、関東地方に存在しているはずである。ここから、幻の大断層“利根川構造線”探しが始まった。

大学の卒業研究以来、30年に亘って関東地方の新第三紀の地層や岩石(新第三系)の調査を続けてきた私は、博士課程の頃から違和感を憶えていた。関東平野には厚い第四系が広がり、基盤岩類はもちろん、新第三系もほとんど露出していない。そのため、関東地方の新第三系の調査は、関東山地や足尾山地など基盤岩からなる山地や、その周辺の丘陵部に分布する地層が対象となる。関東山地と足尾山地は関東平野を挟んで分断されているため、両山地に分布する新第三系も分布が途切れている。関東山地と足尾山地の間の新第三系は、地表では第四系で覆い隠されてい

るが、地下では地層が連続しているとするには、岩相(地層の種類や特徴)があまりにも唐突に変わるのである。

卒業研究で調査したのは関東山地の中程にある埼玉県の秩父盆地で、日本海拡大末期に海底で堆積した厚い地層からなる。修士から博士課程では調査範囲を広げ、関東山地周縁の富岡地域(群馬県)や五日市盆地(東京都)、比企丘陵や岩殿丘陵(いずれも埼玉県)などを歩き回った。いずれの地域にも海底に堆積した厚い地層が分布し、顕微鏡でしか見えない小さな化石(微化石)を使って年代を決定すると、現在では分布が分断された地層から、当時の海底に広がっていた堆積盆の様子が再現された。日本海拡大末期の1,650万年前から、関東平野の内陸部が陸化したおよそ1,000万年前の期間、関東山地とその周辺は、火山活動が活発な火山弧からは離れた海域にあった。すなわち、関東山地とその周辺には、“火の気”がないのである(第1図のB)。

ところが、比企丘陵から30kmも離れていない太田地域(群馬県)の八王子丘陵を調べると、火砕流堆積物や安山岩溶岩、高温の火砕流堆積物である溶結凝灰岩がみられ、突然“火の気”が現れる(第1図のA)。同様の“火の気”は、太田地域から東に佐野から岩舟地域に続き、さらに足尾山



第1図 群馬県太田市八王子丘陵(足尾山地側)の軽石流堆積物(A)と、埼玉県比企丘陵(関東山地側)の海底扇状地堆積物(B)。

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: 日本海の拡大, 中央構造線, 北部フォッサマグナ, 利根川構造線, リフト帯

地の東縁に沿って、鹿沼から大谷、宇都宮地域(いずれも栃木県)へと連続している。倉や堀に利用される大谷石は、この“火の気”を代表する軽石流堆積物である。さらに、日光から鬼怒川にかけての広い範囲は、非常に厚い火山岩や火砕流堆積物からなる火山弧中軸部となる。岩石は、後の火成活動にともなう熱水変質により鉱物が緑色に変色しているために、いわゆる“グリーンタフ(緑色凝灰岩)”と呼ばれてきた。このように、足尾山地とその周辺は、明らかに火山活動の中軸部であった。だから、“火の気”のまったただ中であつた足尾山地と“火の気”のない関東山地の間には、両者を分断する大断層がなくてはならない。

2. 平野の地下の基盤岩

幻の断層である“利根川構造線”は、関東平野の地下のどのあたりを通過しているのだろうか。それを探るためには、ボーリングデータや重力データなど、使えるものは何でも利用するしかない。中でも有効なのは、ボーリングデータである(第2図)。関東平野の基盤に到達したボーリングは多くはないが、そのいくつかは“利根川構造線”の位置を推定する際、重要な証拠を与えてくれる。例えば、ボーリング調査によって三波川変成岩が得られている場所は間違いなく西南日本外帯なので、“利根川構造線”はその場所よりも北側に位置するはずである。東北日本弧には全く存在が確認されていない三波川変成岩は、“利根川構造線”の位置を推定する際、決定的な証拠となる。

一方、西南日本内帯を特徴づける白亜紀の花崗岩や高温型変成岩は領家帯を構成するが、同様の岩石が関東平野の地下から掘削されたとしても、その場所が西南日本側か東北日本側か解釈は難しい。例えば、埼玉県^{まつし}の岩槻で得られた白亜紀のマイロナイト(高木ほか, 2006)は中央構造線に沿って特徴的に産する岩石に酷似し、その南側には三波川変成岩がコアとして得られているので、その場所は西南日本内帯に属すると解釈されている。同様の組み合わせに基づけば、埼玉県^{まつし}の松伏(高木・高橋, 2006)や千葉県北西端の野田(高木ほか, 2010)付近の地下から掘削された花崗岩類も、それらは西南日本内帯(領家帯)に帰属すると考えられる。ところが、茨城県のつくば周辺では、白亜紀の花崗岩類や高温型変成岩類がボーリング調査(三本ほか, 2000; 岡野ほか, 2001)によって確認されており、それらはいずれも筑波山を構成する筑波深成岩・変成岩類に続く岩石であると判断されている。

つまり、三波川変成岩が近傍に確認されない限り、白亜紀の花崗岩やその変成岩だけから、それらが領家帯(西南

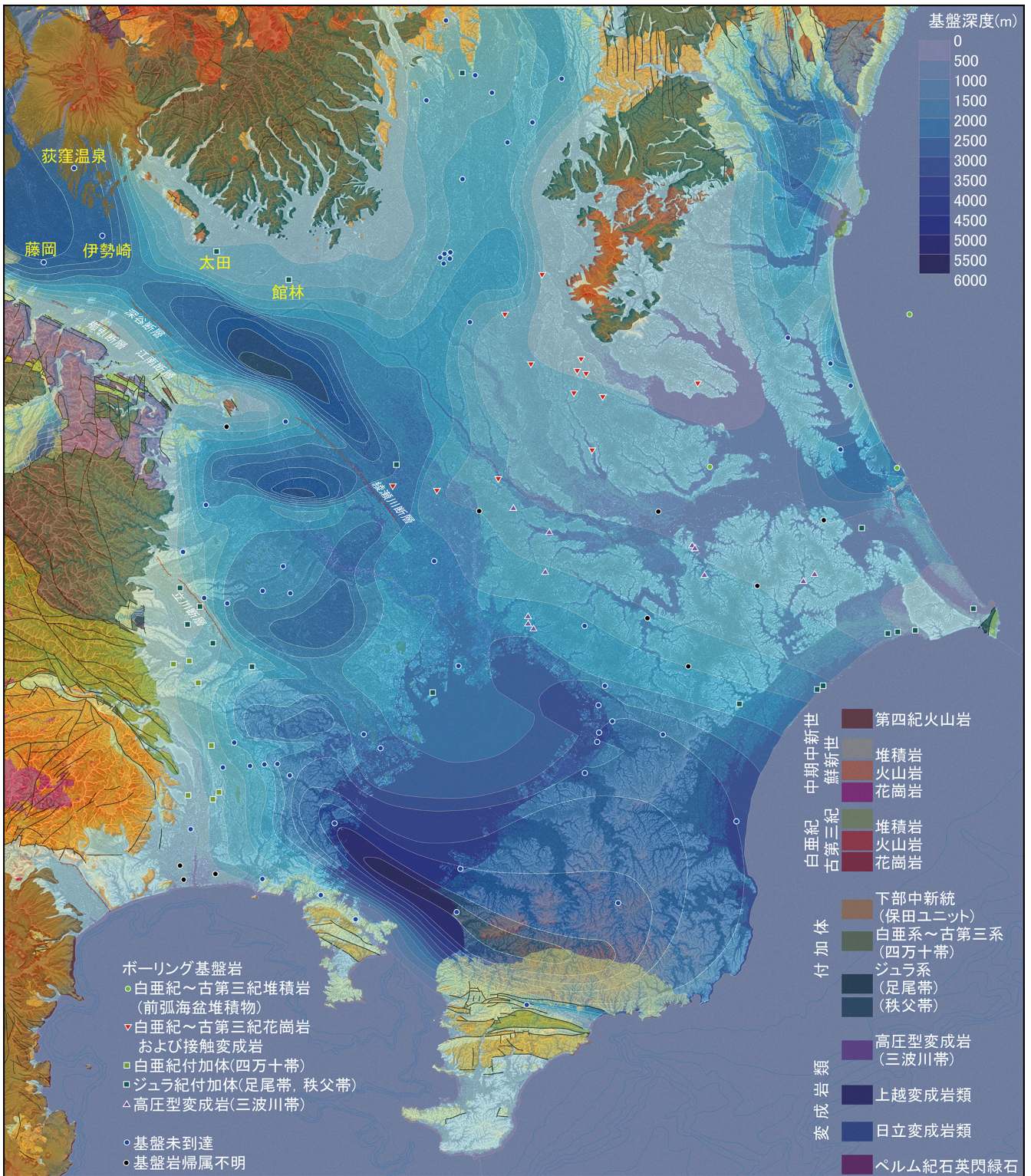
日本内帯)に帰属するとは判断できないのである。換言するなら、西南日本外帯は三波川変成岩の露出によって定義され、三波川変成岩の存在によって、領家帯を規定することが可能となる。そして、三波川帯と領家帯の境界断層である中央構造線も、三波川変成岩抜きでは規定のしようがない。だから、三波川変成岩が存在しない東北日本弧には、そもそも東北日本弧を定義する地層や岩石は存在せず、あくまでも西南日本弧を規定したのち、それよりも北側が東北日本弧であろうというほかない。

ここまでの議論のように、筑波深成岩・変成岩類を、岩相および年代の類似性から領家帯(西南日本内帯)の構成岩類と解釈すると元の木阿弥で、東西日本の地質学的境界が棚倉破碎帯にならざるを得ない。つくば周辺で確認されている花崗岩類が領家帯に帰属すると安易に解釈せず、日本海拡大時の東北日本弧と西南日本弧の境界断層を探っていこう。

ボーリングデータのうち、東西日本の境界位置を制約する情報は基盤岩類だけではない。三波川変成岩の有無が関東山地と足尾山地の地質学的不連続の決定的根拠とされているが、前述のように、新第三系の特徴も明確な地質学的不連続を示している。すなわち、厚い海成層からなる関東山地(西南日本弧)側と、火山岩類からなる足尾山地(東北日本弧)側として、両者は明確に区別できる。そこで、ボーリングデータのうち、新第三系に着目して、“利根川構造線”の位置を推定してみよう。

群馬県の藤岡(福田, 1964)と伊勢崎(鈴木・小林, 1999)で掘削されたボーリングでは、第四系の下に厚い海成の新第三系が伏在し、基盤岩には到達していない。基盤が深いほど密度の小さい被覆層(堆積岩)が厚くなるため、重力は負のブーゲ異常を示す。関東地方のブーゲ異常図を見ると、房総半島から関東平野の西部を経て、関東山地と足尾山地の間を北西に抜ける負のブーゲ異常帯が明瞭であり、この範囲で基盤が深いことを物語っている。藤岡や伊勢崎はいずれも負のブーゲ異常域に位置し、2,000 mを超す掘削深度でも基盤に到達していないことと符合する。すなわち、藤岡から伊勢崎にかけての地下には厚い地層が伏在し、同様に厚い地層が分布する富岡や比企丘陵など関東山地周辺の特徴を有する。

掘削の際の調査によって、これらの厚い地層は泥岩や砂岩などの海成層であることが明らかにされており、富岡地域(群馬県)に露出する新第三系に対比されている。つまり、関東山地の北縁から北東端にかけて分布しているおよそ1,650～1,500万年前の海成層(富岡層群や比企層群)と、その上に重なる1,500～1,000万年前の海成～デル



第2図 関東地方の地質と関東平野で掘削されたボーリング情報, および平野の地下の基盤深度構造図(高橋, 2008 に千葉, 2008 を重ねて作成).

タ堆積物(安中層群や都幾川層群)が関東平野の地下にも連続し, 少なくとも伊勢崎までは関東山地側の特徴が続いている。

これに対し, 群馬県の館林のボーリング地点では基盤は浅く, 硬質砂岩や泥岩のほか花崗岩が確認されてお

り, 明らかに足尾山地の基盤岩の特徴を示す(鈴木・小林, 1999). 基盤を覆う新第三系(中新統)は厚さがわずか200 mしか存在せず, 中新統を1,500 m以上掘削しても基盤岩に到達しなかった伊勢崎とは対照的である. 館林の地下地質は明らかに足尾山地(東北日本弧)周辺に露出

する新第三系の延長であり、関東山地(西南日本弧)に続く伊勢崎との間に、東西日本の地質を分断する“利根川構造線”が存在すると推定される。

3. 天然温泉から地下を探る

その西方延長は、厚い第四系や赤城山の火山噴出物に覆われるため推論の域は出ないが、少なくとも赤城山の南面に位置する市営の荻窪温泉(あいのやまの湯)の北側を通過すると考えられる。あいのやまの湯は2004年に前橋市が開発した日帰り温泉で、標高200mから深度1,200mまで掘削した、泉温48℃の天然温泉である。標高から考えると、ボーリングは火山体を突き抜け、その下の地層から源泉を得ていると考えられる。源泉掛け流しの露天風呂は、薄茶色を呈するわずかに有機物臭のする柔らかいお湯である。

普通、火山地帯の温泉は酸性が強く、ゆで卵臭で特徴づけられるが、厚い堆積岩の地下深部から得られる源泉は、茶色く色づいたわずかに石油臭いお湯が多い。臭いのもと堆積岩に含まれていた有機物が熟成したもので、秋田から新潟では、湯面にうっすら石油膜が見られる温泉もある。関東平野の日帰り温泉の多くも、かつての海水(化石水)に、周囲の地層に含まれるプランクトン化石などの有機物が熟成して溶け込んだもので、源泉は塩辛くわずかに石油臭い。これは、地下に厚い堆積物(海成層)が伏在していることを表している。

これに対し、あいのやまの湯から20kmほど北東に位置する水沼温泉センターのお湯は、火山に伴うゆで卵臭いお湯でもなく、堆積岩に由来する有機物臭いお湯でもなく、無色・無味・無臭である。水沼温泉センターは、渡良瀬川に沿って走るわたらせ渓谷鉄道の水沼駅に隣接し、周囲の地質は足尾帯のジュラ紀付加体なので、地下には古い基盤岩類が伏在している。その亀裂を流れる地下水からお湯を得ているので、水沼温泉センターのお湯は無色・無味・無臭なのであろう。

このように、天然温泉の源泉は、地下地質を如実に反映している。そして、あいのやまの湯の源泉は、その地下に厚い堆積層が伏在していることを表している。それは、その場所が東北日本弧側の火山弧中軸部ではなく、関東山地側に連続することを示唆している。すなわち、幻の断層“利根川構造線”は、あいのやまの湯の北側を通過していると判断した。

一方、群馬県の太田や館林の南側を通過する“利根川構造線”の東方延長については、制約条件が一気に乏しくな

る。ボーリング調査に基づくと、千葉県の柏から成田周辺の地下の基盤岩は三波川変成岩なので、少なくともその範囲は間違いなく西南日本外帯に帰属する。したがって、“利根川構造線”は、それらの地域の北側を通過すると考えられる。これに対し、茨城県のつくば周辺では、筑波山周辺に露出する白亜紀末から古第三紀初頭の花崗岩や斑れい岩類、およびそれらの熱変成を被った高温型変成岩(筑波変成岩)が比較的浅い場所から掘削されている。したがって、“利根川構造線”は、それらの範囲の南側を通過すると考えられる。

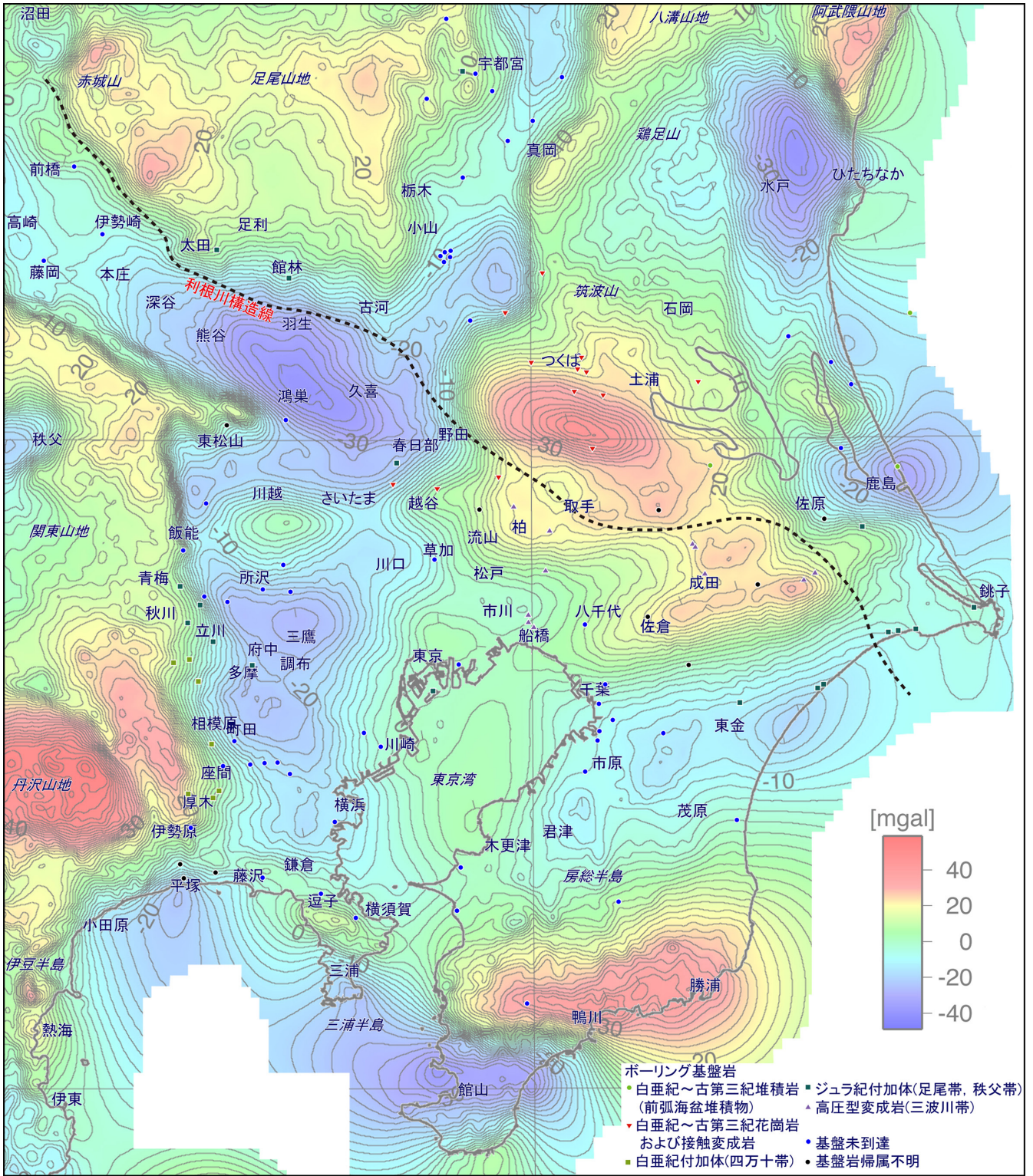
沈み込む太平洋プレートの影響を取り除いた短波長のブーグ異常図(第3図)を見ると、つくば周辺から南に向かってひとかたまりの高異常域が認められる。“利根川構造線”がこの高異常域の内部を通過するとする積極的根拠は見当たらず、ここでは高異常域の南縁、すなわち茨城県の取手付近を通過したのち、千葉県成田周辺の三波川変成岩掘削地点の北側を東方に連続すると考えた。

さらに、その東方については、銚子は東北日本弧に帰属すると判断されるので、“利根川構造線”は三波川帯を切断するように銚子の南西側を通過し、構造線(大断層)の存在を強く示唆する直線的海底谷(片貝海底谷)に続くことと推定した。このように、東北日本弧の南限である“利根川構造線”は、群馬県の赤城山の地下を南東に向かって続いたのち、ほぼ利根川に沿って足尾山地の南側を通過し、埼玉県の野田のすぐ北側から茨城県の取手あたりを通過して向きを東に変え、成田の北方を回り込むようにして銚子の南東側を通過し片貝海底谷に続く。それでは、“利根川構造線”を境に日本列島を東北日本弧と西南日本弧に分割し、古地磁気データを考慮しつつ、日本海の拡大直前まで復元してみよう。

4. 日本海の拡大直後

日本海拡大直後の1,500万年前、西南日本外帯の帯状配列は直線状であった。赤石山地と関東山地の地帯配列が漢字の“八の字”状に湾曲しているのは、1,500万年前以降の伊豆弧の衝突による。したがって、日本海の拡大直前まで日本列島を復元する際には、最初にこの湾曲構造を補正しておく必要がある。第4図の復元アナログ模型では、赤石山地と関東山地を一旦地質図から切り離し、西南日本弧の全域で、三波川帯や中央構造線が直線的に連続するようそれらを再配置した。

その結果、中部地方には薄緑色で示されるように、地質図として表されない空白地帯が広がってしまう。この範囲

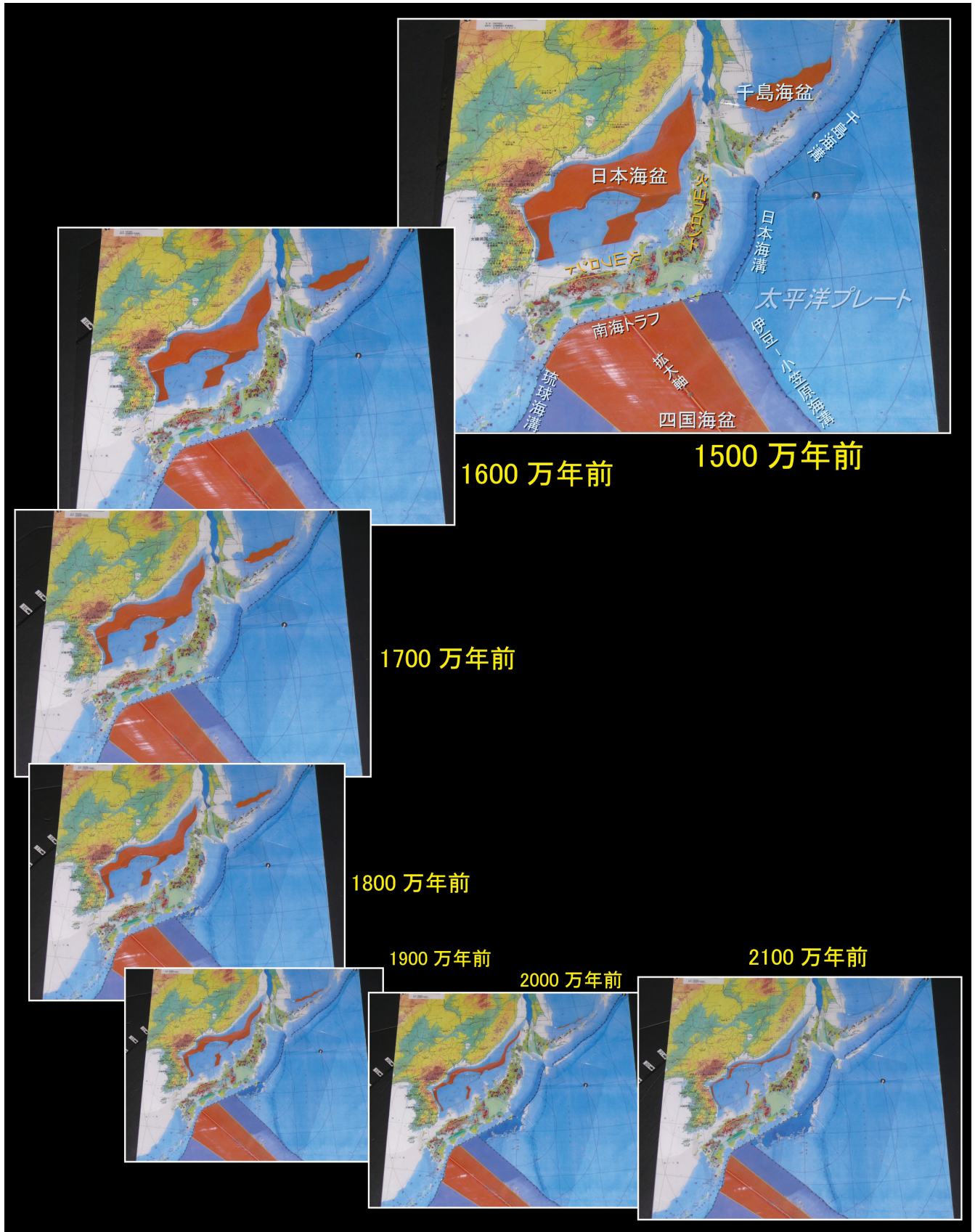


第3図 関東地方の短波長 (<125km) ブーゲ異常図と、ボーリングによる基盤地質 (工藤, 2008 に高橋, 2008 を重ねて作成)。

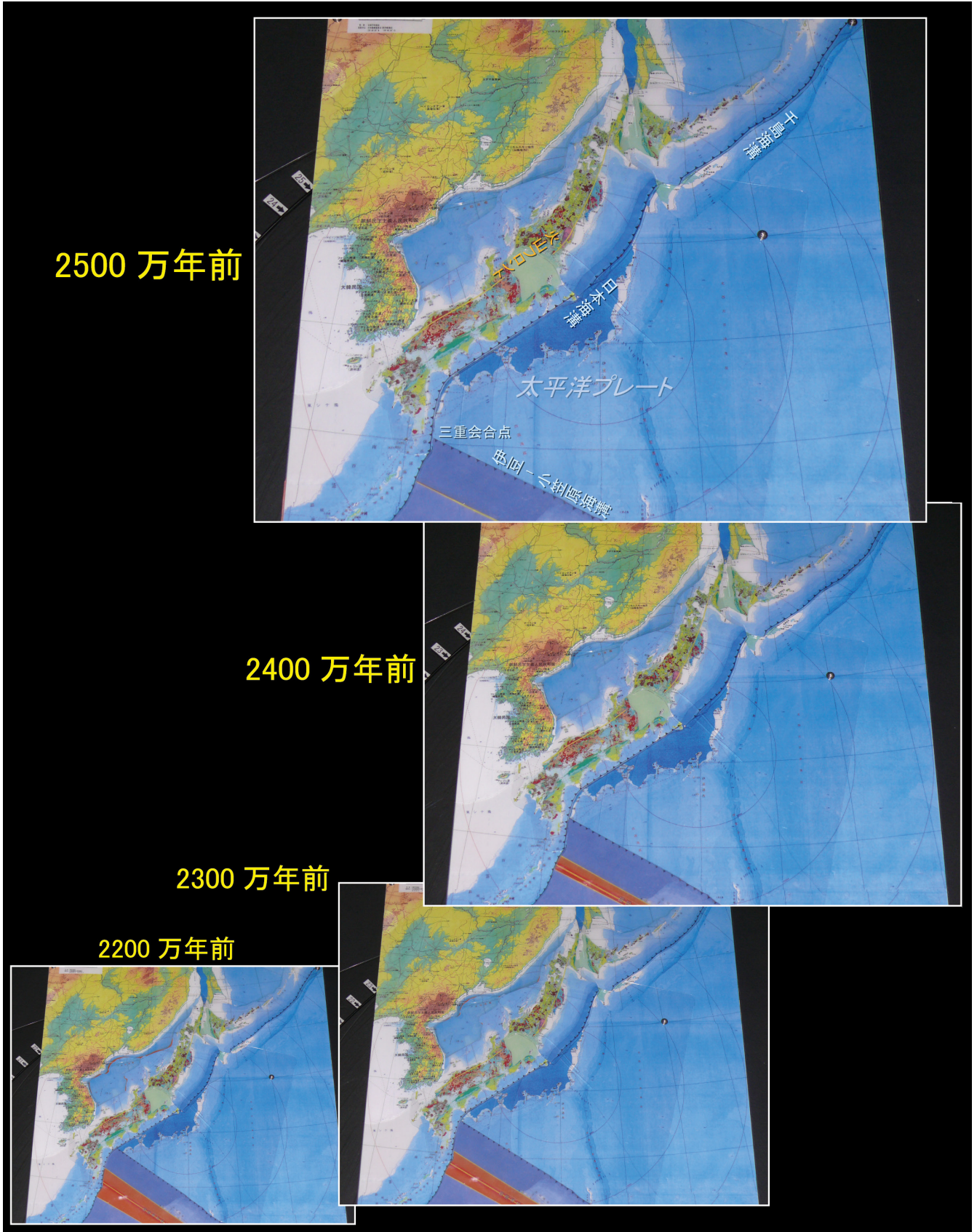
には、その後の変形に伴って浸食され失われてしまった地殻が存在していた。それらは、北に低角度で傾斜する中央構造線の構造的上位に重なっていた地質体であろう。すなわち、ジュラ紀付加体とそれらに貫入した白亜紀の花崗岩類がその範囲に存在していたと推定される。換言するな

ら、この空白域には美濃・丹波・領家帯に相当する地質体が存在していて、そのまま中部地方の基盤岩類に連続していたと考えられる。

一方、東北日本弧の南限は“利根川構造線”で、関東山地までの間の空白域には、西南日本の東方延長、すなわち



第4図 日本海の拡大過程復元アナログ模型.



第4図 続き.

西南日本外帯と内帯に相当する地質体が存在している。アナログ模型では薄緑色に示されているが、実際には関東平野下に伏在する三波川、秩父、四万十帯の基盤岩類が、西南日本外帯の直線的帯状配列を維持しながら存在し、さらに、中央構造線の北側には、ジュラ紀付加体と白亜紀深成岩類で代表される西南日本内帯の基盤岩類(美濃、丹波、領家帯)が伏在している。この西南日本内帯に相当する基盤岩類は、現在では関東山地の北縁に沿って露出する南蛇井層(ジュラ紀付加体)や平滑花崗岩(白亜紀花崗岩)などである。模型では薄緑色の空白域として示されているが、地体構造論的解釈は担保されている。

本州については、東北日本弧と西南日本弧それぞれについて、前期中新世の火山フロントを黄色い線で示した。日本海拡大直前には、それらが連続するように配置しなければならない。また、大和碓^{やまとたい}など日本海に散在する大陸地殻も再現した。日本海の拡大に伴う内部変形を復元することはアナログ模型であるためできないが、日本海の拡大が、典型的な海洋底拡大として同時期に形成された千島海盆や四国海盆とは対照的であることを意図した。

1,500 万年前の日本列島は、とくに東北日本弧の広い範囲が海面下であったため、現在の海陸分布(海岸線)とは大きく異なっていたはずである。そのため、古地理図(海陸分布)として日本列島の成り立ちを再現することを期待する方もおられる。しかしながら、手順としては、まず骨格(島弧)の配置を確定し、その後、海陸分布を配置図に重ねて表現せざるを得ない。さらに、海陸分布図のみを時系列に沿って再現すると、島弧の移動や変形過程を理解することが困難となってしまう。ここで問題としているのは、日本海の拡大過程と東西両日本弧の回転・移動過程であるので、古地理については考察しない。

さて、日本海拡大直後の日本列島の配置そのものは、現在と大きくは変わっていない。太平洋プレートは千島海溝から日本海溝、そして伊豆-小笠原海溝に沿って沈み込んでいて、千島弧、東北日本弧、そして伊豆-小笠原弧の弧-海溝系の枠組みは現在と同じである。一方、西南日本弧も現在とほぼ同じ配置にあるが、その前面に広がるフィリピン海プレートは、拡大直後の四国海盆であった。そのため、1,500 万年間かけて十分冷却し厚くなった現在のフィリピン海プレート(四国海盆)と異なり、プレートは薄く温度も高かったであろう。

そもそも、1,500 万年前にフィリピン海プレートが西南日本弧の下に沈み込んでいたかも疑わしい。後述するように、四国海盆の拡大と回転していた西南日本弧の境界がトランスフォーム断層であったなら、1,500 万年前には、西

南日本弧の地下にフィリピン海プレートのスラブは存在していなかったことになる。1,500 万年前の西南日本弧は、典型的な弧-海溝系ではなかった可能性が高い。

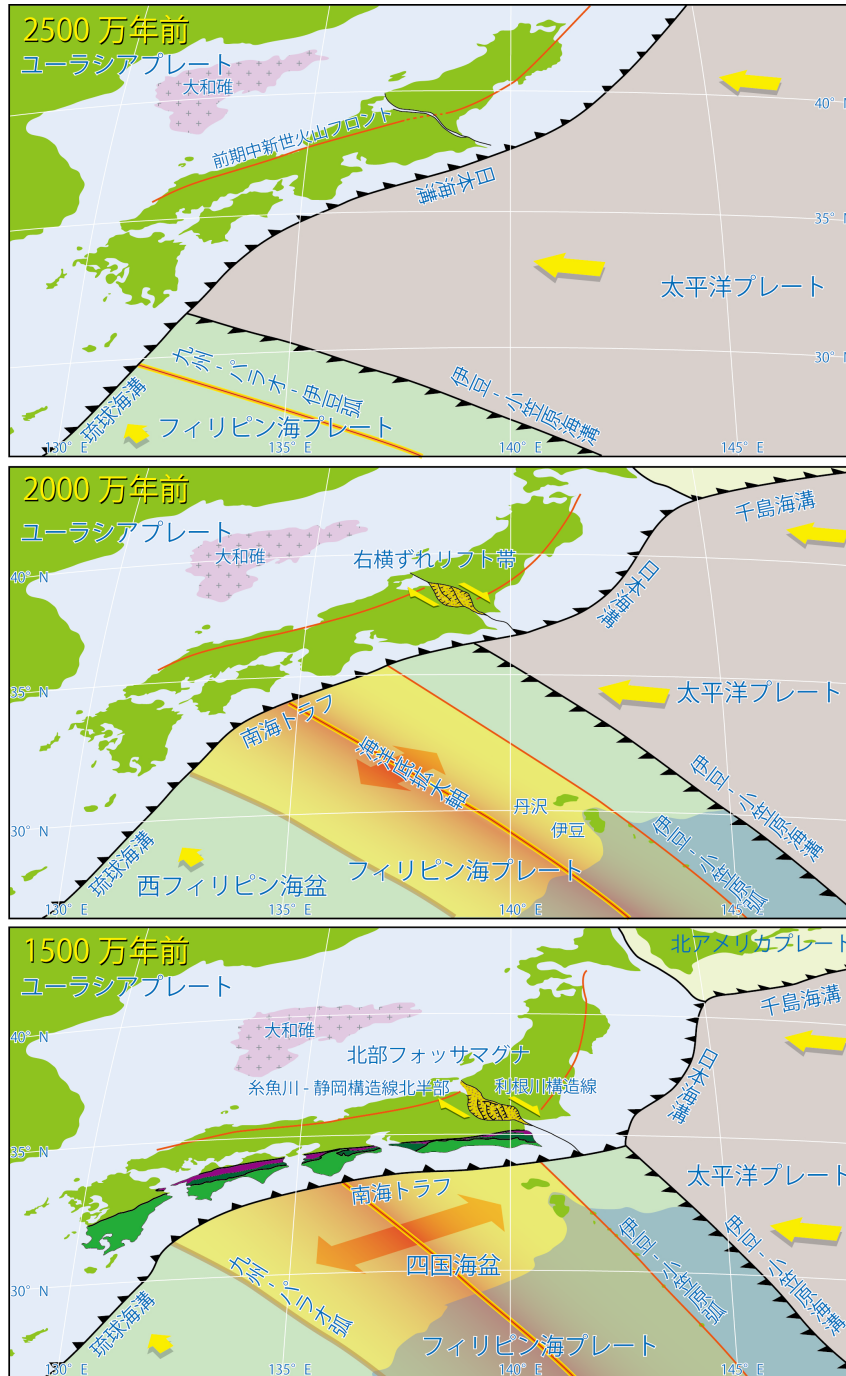
1,500 万年前の琉球弧には、十分冷却した西フィリピン海盆(フィリピン海プレート)が沈み込んでいた。現在でも琉球弧には西フィリピン海盆が沈み込んでいるので、当時の弧-海溝系の枠組みは、現在まで保持されてきたといえる。1,500 万年前の琉球弧は、安定した大陸縁の陸弧であったと推定される。数百万年前に開始した琉球弧の背弧リフト帯(沖縄トラフ)はいまだブレイクアップに至っておらず、琉球弧は現在でも陸弧である。

5. 背弧海盆の拡大

それでは実際にアナログ模型を動かしながら、過去へと溯ってみよう。第4図のアナログ模型は、フィリピン海プレート(西フィリピン海盆部分)を動かすと、すべてのパーツが連動して動くように作られている。模型には、復元された配置がいつであるのかを示す数値が表示されているので、100 万年ごとに復元した模型を撮影して第4図を作成した。例えば、1,700 万年前の復元図では、四国海盆のうち1,700 ~ 1,500 万年前に拡大したおおよその範囲を消去するように伊豆-小笠原弧と九州-パラオ弧の間を狭め、あわせて、日本海を閉じるように西南日本弧と東北日本弧を回転・移動させている。さらに、千島海溝と日本海溝が連続するように千島弧を反時計回りに回転させ、その結果、千島海盆は徐々に閉じていく。

およそ2,200 万年前の復元では、オレンジ色で塗色されている部分(海洋地殻)は、大和碓などの大陸地殻によってほぼふさがれていて、日本海がほとんど閉じていることが再現されている。しかしながら、九州の南方では四国海盆はまだ拡大途中であるため、オレンジ色で塗色された部分が残されている。そして、2,500 万年前になると四国海盆は完全に閉じて、九州-パラオ弧と伊豆-小笠原弧は単一の海洋性島弧として復元される。

このときの復元図を見ると、千島海溝と日本海溝はほぼ直線状に繋がり、九州沖の三重会合点までひとつながりの海溝であったことが分かる。そして、千島弧から東北日本弧、さらに西南日本弧もほぼ直線状に連なり、東から太平洋プレートが斜めに沈み込んでいたことが復元される。したがって、千島弧-東北日本弧-西南日本弧は、同一の海洋プレートの沈み込み境界に形成された単一の陸弧であったと考えられる。千島弧の背後(北側)に広がるオホーツク海は典型的な大陸プレートとは考えにくく、ユーラシア



第 5 図 日本海の拡大と北部フォッサマグナの形成過程概念図。

大陸の南東縁に位置する東北日本弧や西南日本弧と、海洋地殻と推定されるオホーツク海を背後に持つ千島弧は、別個の弧-海溝系と捉えるべきかもしれない。他方、東北日本弧と西南日本弧を区別する地質学的要因は、2,500 万年前には存在していなかったといえる。

一方、琉球弧には、四国海盆の拡大前も拡大以降も、ずっとフィリピン海プレート(西フィリピン海盆)が沈み込んでいた。また、伊豆-小笠原弧も、四国海盆の拡大以前から現在まで、太平洋プレートが沈み込み続けてきた。

したがって、琉球弧と伊豆-小笠原弧は、少なくとも後期新生代を通じて海洋プレートが沈み込む典型的な弧-海溝系であったといえる。それでは、今度はこのモデルを1,500 万年前に向かって動かし、2,500 万年前と比べて何が大きく変化し、あるいは変化しなかったのかを探ってみよう。

6. 日本分裂：北部フォッサマグナの形成

2,500 万年前と 1,500 万年前の復元における最も大き

文 献

な違いは、千島弧から琉球弧に続く直線的島弧ないし陸弧が、東北日本弧と西南日本弧の折れ曲がりによって、複数の弧状列島群になったことであろう。弧-海溝系の折れ曲がり、沈み込み境界(海溝)の折れ曲がり、とくに顕著なのが、日本海溝と南海トラフの折れ曲がり、その連結部に三重会合点が位置している。一方、琉球海溝の方向はほとんど変化せず、千島海溝や伊豆-小笠原海溝は、背弧海盆の拡大によって向きが変化している。

さらに、本州中央部に近づいていくと、1,500 万年前の復元図では、前期中新世の火山フロントが関東地方を境に大きく右ずれに変位している。2,500 万年の復元図では、海溝も火山フロントも連続的に繋がっている、日本海の拡大に伴って東北日本弧と西南日本弧の分裂が起こったことが分かる。すなわち、ひとつながりの本州は、日本海の拡大に伴って東北日本弧と西南日本弧に分裂し、両者は右横ずれにずれていった。ずれた範囲は伸張変形してリフト帯を形成し、深い地溝帯を大量の碎屑物が埋め尽くしていった。それが、北部フォッサマグナである(第5図)。ナウマンが発見・命名したフォッサマグナの北半分(北部フォッサマグナ)は日本海拡大時期の右横ずれリフト帯であり、その西縁は糸魚川-静岡構造線の北半部、一方、東縁は“利根川構造線”であると私は考えている(高橋, 2006)。

ナウマンがフォッサマグナを発見し命名したのは1885~1886年であった。それ以降、日本列島の形成を論ずる際、フォッサマグナは避けては通れない日本で最も重要な地質区となった。にもかかわらず、「フォッサマグナはどこに、どのように存在するか?、という最も基本的な問題について、まともに取り上げ、明確に答えた研究者は一人もいない、・・・その問題だけは触れようとしない、あるいはさりげなく巧妙に避けてきた。」と、山下 昇は著書「フォッサマグナ」で述べている(山下, 1995)。

いま、山下先生が生きておられたら、ましてやナウマンが生きていたとしたら、私のこの解釈に対して、どのように議論して下さったでしょうかと空想に耽ってしまう。あるいは、日本列島の地体構造を論じた東京帝国大学の小林貞一教授や、糸魚川-静岡構造線を命名した母校の初代教授である矢部^{ひきかつ}長克教授、さらに大学院時代の指導教官であった北村^{のぶ}信教授や中川久夫教授などの先達が生きておられたら、私のような若輩の解釈に対して、どのようなコメントをくださったでしょうかと妄想は留まらない。ところが、そのような悠長な気分など一気に吹き飛ばす大問題が、すぐその先に待っていた。

(第十話につづく)

- 千葉達朗(2008) 関東地方の地形. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3「関東地方」, 口絵1.
- 福田 理(1964) 藤岡層序試錐(予報)-坑井地質を中心として-. 地質ニュース, no. 114, 1-10.
- 工藤 健(2008) 関東地方の短波長(<125km) プーゲ異常図. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3「関東地方」, 口絵2.
- 三本健四郎・山根 肇・吉田 浩・岡野 肇・妹尾洋一・原 郁夫(2000) つくば技術開発センター1350mボーリングコアの地質学(1) 基盤岩類の地質外観. 応用地質技術年報, no. 20, 43-86.
- 岡野 肇・妹尾洋一・三本健四郎・真鍋弘道・山根 誠・吉田 浩・原 郁夫(2001) つくば技術開発センター1350mボーリングコアの地質学(2). 応用地質技術年報, no. 21, 41-79.
- 鈴木宏芳・小林健太郎(1999) 関東地域の孔井データ資料集. 防災科学技術研究所研究資料, no. 191, 1-80.
- 高木秀雄・鈴木宏芳・高橋雅紀・濱本拓志・林 広樹(2006) 関東平野岩槻観測井の基盤岩類の帰属と中央構造線の位置. 地質学雑誌, 112, 53-64.
- 高木秀雄・高橋雅紀(2006) 松伏SK-1坑井基盤岩試料からみた関東平野の中央構造線. 地質学雑誌, 112, 65-71.
- 高木秀雄・武田佳明・石井 徹(2010) 関東平野温泉ボーリングのカッティングスの岩石記載とその帰属-つくば市下原および野田市花井. 地質学雑誌, 116, 453-457.
- 高橋雅紀(2006) 日本海拡大時の東北日本弧と西南日本弧の境界. 地質学雑誌, 112, 14-32.
- 高橋雅紀(2008) 関東地方の地質図と関東平野下の先中新統基盤深度図. 日本地質学会編, 日本地方地質誌3「関東地方」, 口絵4.
- 山下 昇編著(1995) フォッサマグナ, 東海大学出版会, 310p.

TAKAHASHI Masaki (2017) Geological problem for the tectonic boundary between Northeast and Southwest Japan -Tonegawa Tectonic Line-.

(受付:2017年2月3日)