

2015年ネパール地震（M7.8）とテクトニクス

1. はじめに

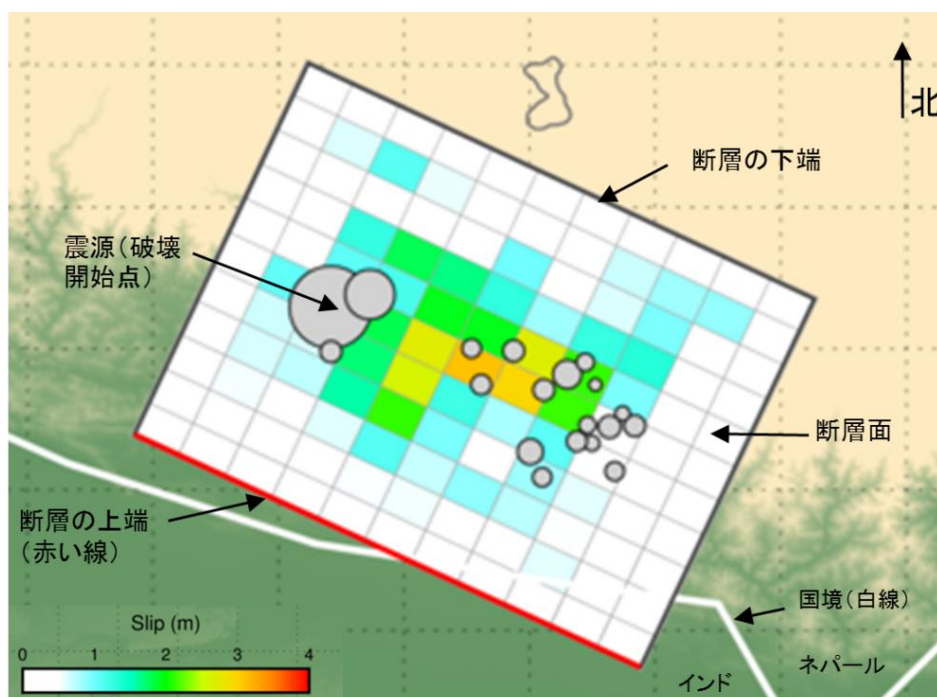
2015年4月25日06時11分（UTC）（現地時刻11時56分）ネパール中央部で、マグニチュード7.8の地震が起きました。震源は首都カトマンズから80kmほど離れていましたが、カトマンズで大きな被害が出ました。カトマンズは、かつては湖だったところに出てきた都市で、柔らかく揺れやすい堆積層のため、被害が大きくなったようです。

一方、地震の起こり方を見ますと、震源（破壊の始まりの所）はカトマンズから80kmも離れていましたが、カトマンズに向かって破壊が進行したうえ、カトマンズの直下で大きく破壊しました。このことも、カトマンズでの被害を大きくした原因のひとつです。また断層面が横方向に広がったため、広い範囲で大きな被害をもたらしました。

この基礎講座では、はじめにネパール地震の起こり方を見てみます。次に、最近よく出てくる「地震のメカニズム解」通称“ビーチボール”のおさらいをします。4節では、ネパール地震を引き起こした地学的背景として当地のテクトニクスを説明し、同じようなテクトニクスは日本にもありますので、5節ではその紹介も簡単にします。

第1図 ネパール地震の断層面と、滑り（Slip）分布を地表に投影した図。基図はUSGS.

中央の大きな滑り（オレンジ色）の真上がカトマンズ。丸印は本震とその余震の震源



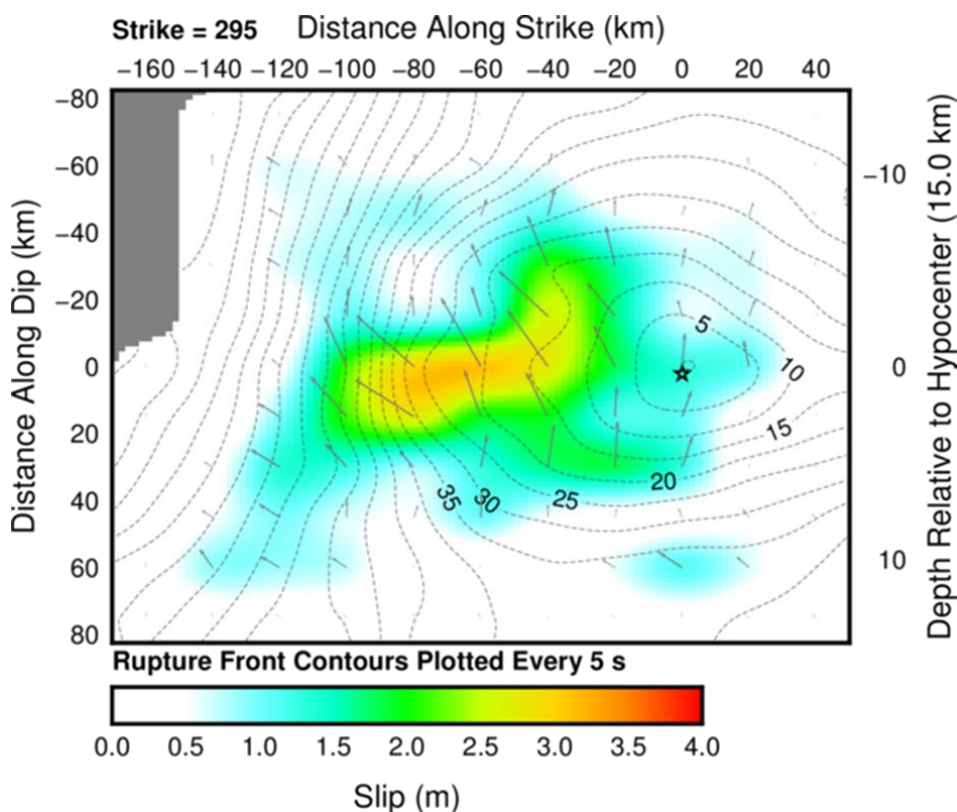
2. ネパール地震のメカニズム

2015年ネパール地震の断層面と破壊の大きさ分布を描いたのが第1図です。基の図は、米国地質調査所(USGS)の資料です。大きい四角枠は全体の断層面で、北北東(ヒマラヤ山脈の方)に向かって角度10度くらいで傾き下がっています。灰色の丸は震源で、一番大きい丸が本震(の破壊開始点)、その他の丸は余震です。小さなメッシュ内の色分けは断層の滑りの大きさを示しています。中央のオレンジ色の真上付近がカトマンズで、同図左下の指標と見比べると3mほど滑ったことがわかります。

第2図

破壊が拡大していく様子を断層面上に示した図。

小さい☆印が震源(破壊の開始点)。数字付の細かい点線は破壊の拡大とその時間(秒単位)。矢印は滑りの大きさと方向を示し、大きさのみを色でも示している。第1図と左右がほぼ逆になっているが、その理由は3節で説明します。

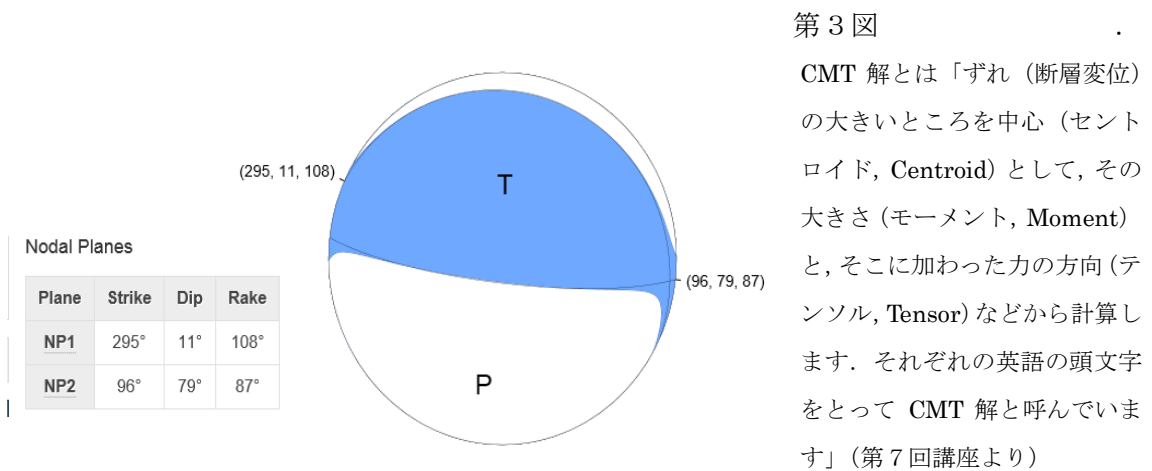


次に、この破壊がどのように伝搬していったかを、詳しく示したのが第2図で、やはり基図はUSGSの資料です。この図は第1図と左右(ほぼ東西)が逆になっていますので比較しにくいですが、星印が震源(破壊開始点)で、色分けは第1図と同じです。細かい点線に数字が付けてありますが、数値は破壊が始まってからの経過時間を、秒単位で示したものです。破壊開始から30秒ほど後、破壊がカトマンズの直下に達したところで大きな破壊(断層の滑り)があったことがわかります。細い矢印は滑りの大きさと方向を示したものです。ところで、第2図は、第1図とほぼ左右が逆になっているのですが、どうしてこんな図を描くのでしょうか。次のおさらいを通じてご説明します。

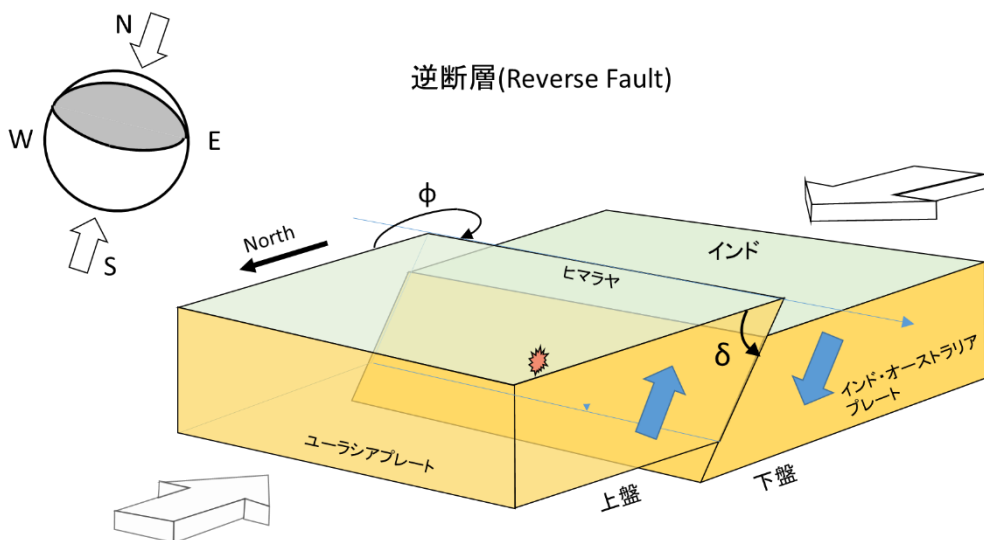
3. 「地震のメカニズム解」のおさらい

最近では、大きな地震がありますと、気象庁の記者会見でも、必ず“ビーチボール”の図と、正断層・逆断層といった断層の対応付けの図が配られます。地震テクニクスを理解するうえで基本的な図なのですが、なかなかイメージしづらい図です。一般論は、第7回基礎講座「地震のメカニズム解（2013 9.22）」でもお話ししましたが、今回の地震でおさらいをして、実際的な理解を深めたいと思います。

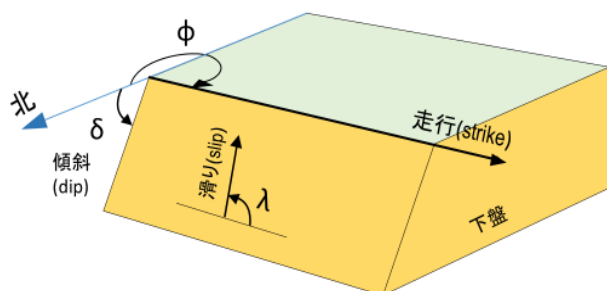
USGS の資料には、第3図のような CMT 解が載っています。断層面解はふたつありますが、今回の地震は余震分布や波形合わせから見て NP1、つまり傾斜角 (Dip) 11° のほうです。この CMT 解から断層の傾きや、滑りの方向を知ることが出来ます。



第4図 ネパール地震の断層モデルを立体的に示した図 (第7回基礎講座の図8-Cと同じ図)



第4図は第7回基礎講座の図8-Cと同じですが、図中の左上の模式的なCMT解(“ビーチボール”)は、今回の地震に合わせて、少し回転させてあります。また、プレートのブロック図にはふたつのプレート名と地表の地名を入れました。だいたいネパールの北西の上空から見た感じの図です。白い大きな矢印がふたつのプレートの力の方向で、インド側のプレートが北のユーラシアプレートの下に沈み込んでいます。その境界で起きたと思われるのが今回の地震で、震源を赤いギザギザマークで記しています。 ϕ は走行(Strike), δ は傾斜(Dip)で、それぞれの意味は第5図に示しました。



走行: 断層の水平方向。上盤から見て右向き方向を北から時計回りに測る
 傾斜: 断層の傾き。水平から測る
 滑り: 断層のずれ。下盤に対する上盤のずれを、水平から反時計回りに測る。

第5図

図中の滑り(Slip)は、下盤に対する上盤の滑りを示しています。今回の地震の滑りの角度(Rake: λ)は 108° となっています。第2図は、滑りを示す矢印の分布を上盤のユーラシアプレート側に投影させて描いたものです。

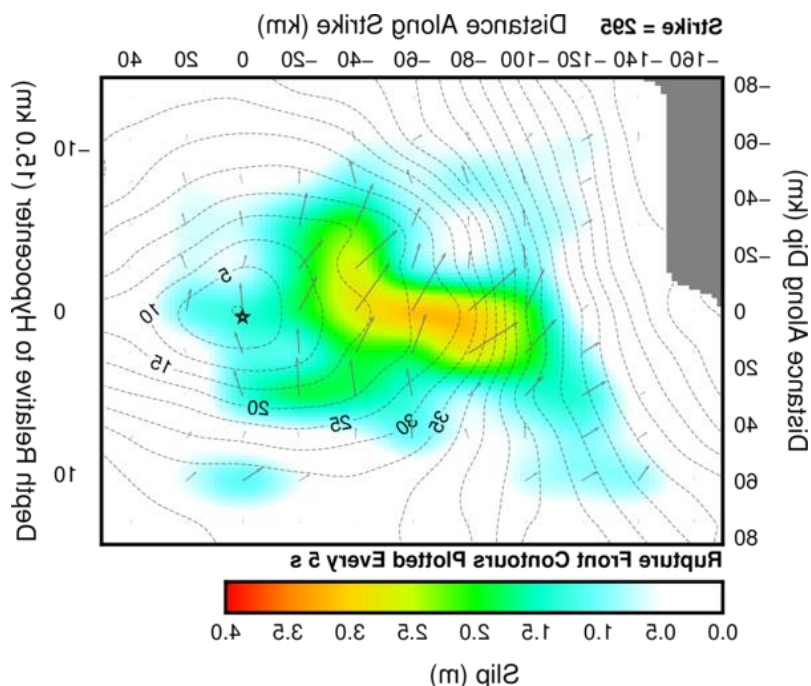
断層の上端の方向(第1図では赤い線で示しています)を走行(Strike)といい、上盤側(ここではヒマラヤ側)に立って断層線を見たとき、右手方向を走行とする約束になっています。その角度 ϕ は北から時計まわりに測ることになっていますが、これも約束事です。今回の地震の走行は 295° で、ヒマラヤ山脈にほぼ並行になっています。傾斜(Dip)は 11° となっていますから、第4図のそれよりもかなり低角で、断層面は横に寝ているような感じでした。

断層の滑った(ずれた)方向とその大きさは、第5図の滑り(slip)のように、矢印の方向と長さで表現します。これもまた約束事で、下盤(インド側)にする上盤(ヒマラヤ側)の動きを表すことになっていますので、第5図の滑り(slip)の矢印は上盤側の動きを示しています。今回の地震(第3図)では、Rake(λ)は 108° となっています。もし $\lambda=90^\circ$ だったら、完全な逆断層と言えますが、今回は 18° 分だけ東向きの水平方向の動きが加わっています。ところでRake(λ) 108° と言うのは、断層全体の平均的な滑りの方向で、実際には断層面の場所によって少しずつ異なっています。それを場所毎に示したのが、第2図の中の矢印です。

第2図を描くにあたっては、上に述べた約束事に従って下盤に対する上盤、すなわちインド側に対する北側のヒマラヤ側の動きを描いていますので、図の上が南西になっています。

第1図は通常の地図と同じように図の上方は北にっていますので、第1図と比べると第2図は、左右（ほぼ東西）が逆になってしまっているのです。直感的にはわかりにくいと思いますので、第6図に左右を反転させた図を載せました。下盤（インド側）から上盤（ヒマラヤ側）を覗いた（見上げた）時の様子と思っていただければいいでしょう。滑りを示す矢印の内、中心部の長めの矢はだいたい真上からやや右（東）に向いています、つまり $\lambda=108^\circ$ だということがわかると思います。

第6図
第1図とイメージを合わせるため、第2図の左右を反転させた図。
下盤（インド側）から上盤（ヒマラヤ側）を見上げた感じの図。



4. ネパールのテクトニクス

「テクトニクス」という言葉は、プレートテクトニクスで有名になりましたが、“運動地形学”とでも訳せばいいのでしょうか。“動かざること山の如し”などと言いますが、実際はプレート運動によって山は高くもなりますし、陸地の移動（漂流）と共に動いていくことはよく知られています。陸地の移動する速さや、山が高くなるプロセスを解き明かすのがテクトニクスです。

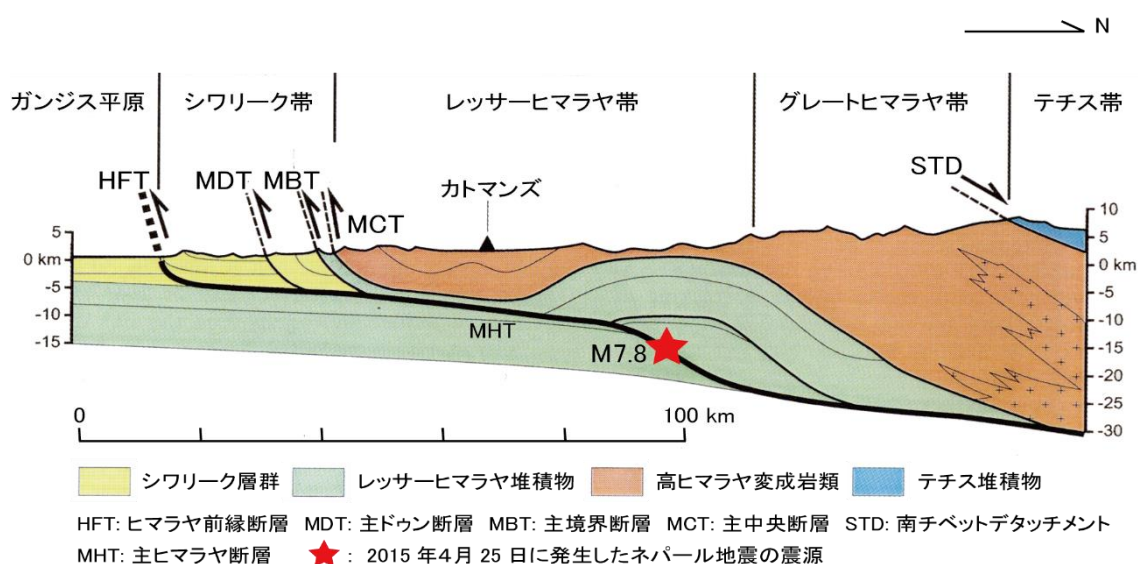
ネパール付近からヒマラヤ山脈、チベットにかけての造山運動もプレートテクトニクスによって明らかになりました。インド・オーストラリアプレートの上に乗っているインド亜大陸は、かつては、はるか南方にあって、ユーラシア大陸との間には、テチス海と呼ばれる海がありました。今から7000万年ほど前に、ふたつのプレートの衝突が始まり、テチス海は次第に狭められ、やがて海は無くなり、海底だったところは圧縮によって盛り上がり、ついにはチベット高原やヒマラヤ山脈を形成していきます。両プレートの現在の相対的な進行速度は、年間5cm～7cmと推定され、この造山運動は今も継続しています。

このようなストーリーが描けるのは地質学のおかげですが、現在のダイナミックな変動

を知るには地震学や測地学も大いに役立っています。今回の地震は、主圧縮軸（メカニズム解のP軸，第4図の白矢印）が両プレートの衝突の方向と一致していることと、低角逆断層だったことから、プレート境界で起こった地震と想われますが、このような地震発生メカニズムと上記の造山運動との関連はこれから大いに研究されるでしょう。第7図は、地質学会のホームページからお借りした、インド（図の左）からヒマラヤにかけての地質断面です。赤い星印が今回の地震の震源で、北側に傾き下がる断層上で起こったことを示しています。

第7図. ネパール付近の地質断面図

日本地質学会のHP (<http://www.geosociety.jp/hazard/content0087.html>) より引用



カトマンズを南北に横断する地質断面図に投影した、M7.8の地震の震源、(Pandey et al., 1999 を改変)

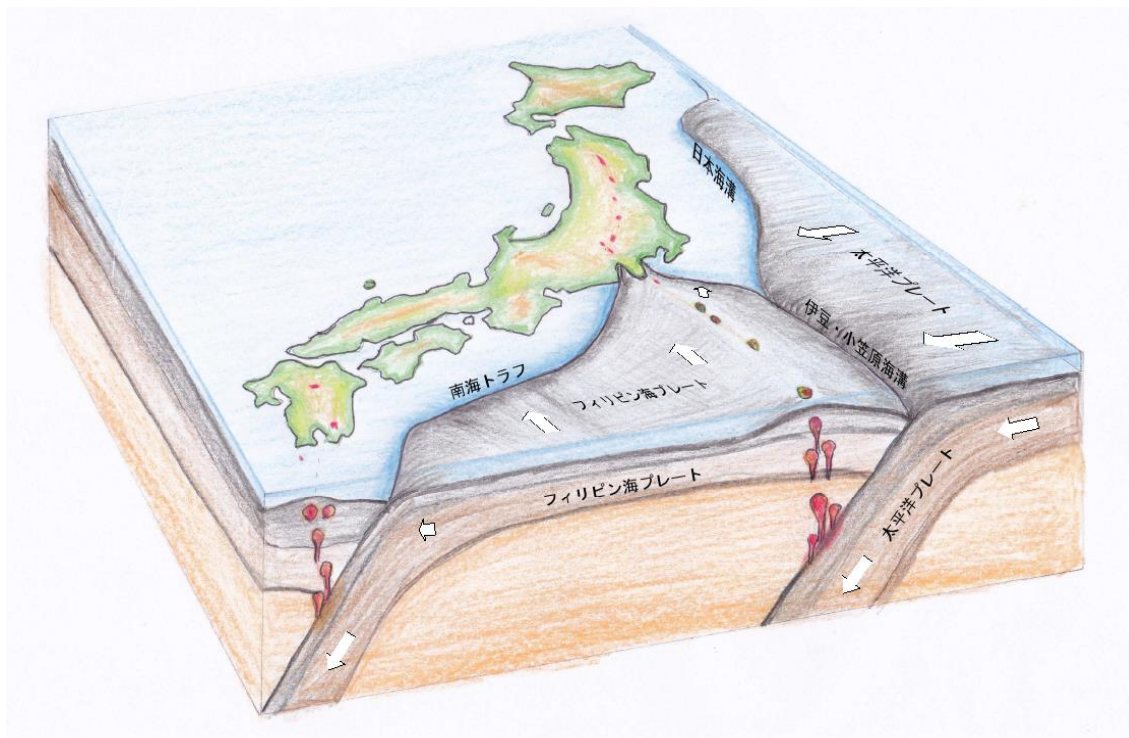
5. 日本でも衝突、造山運動が

ヒマラヤ山脈は、プレートの衝突によって大規模な造山運動が起こっていることで有名ですが、小規模ならば日本にもあります。関東西部の丹沢山地は、フィリピン海プレートに乗っている伊豆半島の北部が日本列島と衝突して、形成されているものです。規模は違いますが丹沢山地はヒマラヤやチベットと同じ成因なのです。以下に、第8図を見ながら、もう少し詳しく述べます。

伊豆半島も伊豆諸島も、元々は太平洋プレートの沈み込みによってできた火山列島です。太平洋プレートは伊豆小笠原海溝から西に向かってフィリピン海プレートの下に沈んでいますが、深さが100kmあたりを超えますと、高温のため熱せられ、プレートの一部分が溶けて軽くなり、浮上してきます。浮上してくる上にはフィリピン海プレートが、いわば蓋をしているようなものですから、それを突き破ってマグマが上昇し火山島を作ります。この火

山島は、伊豆小笠原海溝に沿って、ほぼ直線状に並んでいます。並ぶのはプレートの深さ100km 強の線上に分布するからです。

第8図 日本近海、太平洋側のプレート運動。



一方、フィリピン海プレートは日本列島に向かって進行していますから、フィリピン海プレートの上に出来た火山島は、プレートに乗ってどんどん日本列島に向かって移動してきます。プレート自身は冷えて重くなり、日本列島の下に沈み込んでいきますが、火山島は元々軽くなって地表に出来たものですから、プレートと一緒に沈み込めず、取り残されてしまいます。この取り残しが積もりつもって、次第に高くなり、山になります。丹沢山地はそれですが、いずれ伊豆半島もどんどん北上して山の一部になるでしょう。何百万年もすると立派な山脈になるかも知れません。「知りません」と言いますのは、日本のように降雨の多い所では浸食も早いため、プレート運動によって高くなる一方、風雨で削られて低くなるからです。山が高くなれるかどうかは、隆起と浸食のせめぎ合いで決まります。

余談ですが、富士山はプレートの衝突で出来た山ではなく、伊豆諸島と同じ成因の火山です。富士・箱根から浅間山へと、北関東に続く火山も同じく太平洋プレートが100km余り沈み込んだところの真上に並んでいます。これらはユーラシアプレートに乗っていますので、海側のプレートのような沈み込みはありません。

2015年7月7日 梅田康弘