

首都圏における地震活動の多様性－フィリピン海プレート プレートの沈み込みに及ぼす伊豆島弧の影響

石田 瑞穂¹⁾・木村 武志²⁾

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震による東日本大震災を契機に、2012年5月内閣府中央防災会議の下に「首都直下地震モデル検討会」が設置された。この検討会の下で、従来の首都直下地震モデルによる震度分布・津波波高に加え、あらゆる可能性を考慮した相模トラフ沿いで発生する最大クラスの巨大地震モデルによる震度分布・津波波高の見直しが行われ、結果が公表された(首都直下地震モデル検討会, 2013; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014)。この首都直下地震モデル検討会(2013)に於いては、文部科学省首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(東京大学地震研究所ほか, 2012)や東京都防災会議(2012)等による首都圏直下地震及び相模トラフ沿いで発生する地震に係わるこれまでの成果等も踏まえて、想定される地震断層モデル及びその震度分布・津波波高等が検討されている。

執筆者の石田は、この間活断層・火山研究部門の客員研究員なども務めながら、上記の報告書等で述べられている、首都直下地震モデルが、最近の首都圏の地震活動や研究成果をどこまで反映できているかを調べてきた。ここでは、この過程で出てきた疑問と思われる点を整理したので報告しておきたい。

2. 首都圏のプレート構造

従来から、首都圏及びその周辺地域では、地震活動が極めて活発であり、過去にマグニチュード(M)7や8クラスの地震が発生していることは良く知られている。それらは、南方から伊豆半島を載せたフィリピン海(PHS)プレートが、伊豆半島の北部では首都圏を載せた陸域プレート(北米(NA)プレート)に衝突していることに加えて、伊豆半島より東の領域では相模トラフから首都圏(NAプレート)の下方に沈み込んでいて、さらにこれらのプレートの



第1図 関東周辺のプレート境界(首都直下地震モデル検討会, 2013)。

下方には東から太平洋(PAC)プレートが沈み込んでいることによると説明されている(第1図)。そのため、首都圏で発生する地震の様相は極めて複雑かつ多様で、そうした地震の発生様式を中央防災会議(2004)では以下のように分類してきた(第2図(A))。

- ① 地殻内(NAプレートまたはPHSプレート)の浅い地震
- ② PHSプレートとNAプレートとの境界の地震
- ③ PHSプレート内の地震
- ④ PHSプレートとPACプレートとの境界の地震
- ⑤ PACプレート内の地震
- ⑥ PHSプレート及びNAプレートとPACプレートの境界の地震

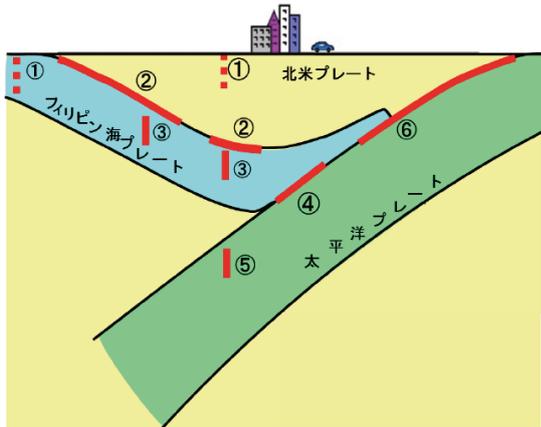
このように地震の発生様式の分類の基本となるのはプレートの形状とその活動様式であり、M8級の地震の発生は②及び⑥のようなプレート上面境界であると考えられている。こうしたプレートの形状は、主に震源分布に基づき求められているため、実際に首都圏直下で地震がどのように分布しプレートの形状と結び付けられてきたかを理解することは、首都圏での地震の発生様式を知るための基本で

1) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門 元客員研究員

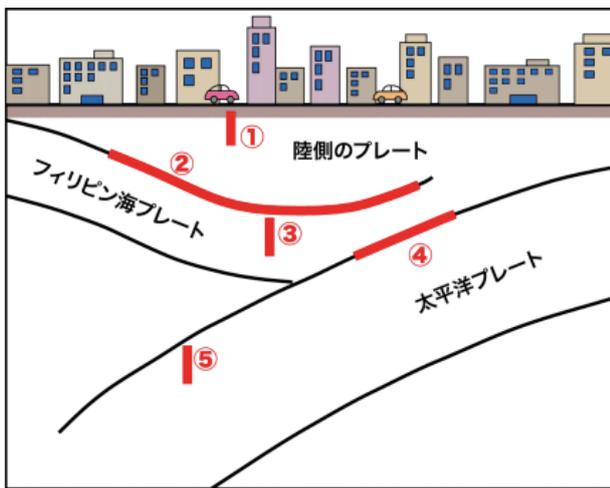
2) (国)防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター

〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1

キーワード: 想定地震, 首都圏, 海洋プレートの沈み込み, 震源分布, プレート構造



(A)



(B)

第2図 (A) 南関東地域で発生する地震のタイプ(首都直下地震モデル検討会, 2013). ①地殻内 (NA プレートまたは PHS プレート) の浅い地震. ② PHS プレートと NA プレートとの境界の地震. ③ PHS プレート内の地震. ④ PHS プレートと PAC プレートとの境界の地震. ⑤ PAC プレート内の地震. ⑥ PHS プレート及び NA プレートと PAC プレートとの境界の地震. (B) 関東地方で発生する地震の模式図(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014). 地震の発生する場所と大きさを模式的に示す. また, 深さの目安も示す. ①活断層等で発生する浅い地震(深さ 0 ~ 20 km). ②陸のプレートと PHS プレートとの境界で発生する地震(深さ 20 ~ 50 km). ③ PHS プレートの内部で発生する地震(深さ 20 ~ 50 km). ④ PHS プレートと PAC プレートとの境界で発生する地震(深さ 50 ~ 100 km). ⑤ PAC プレートの内部で発生する地震(深さ 50 ~ 100 km).

あり, ひいては被害軽減のための基本と考えられている.

従って, 本稿では, まず 1980 年代から現在まで, どのような地震活動に基づきプレートの形状が提案されてきたか紹介し, 最近の成果と比較するが, 議論の基本となる震源データは, 2003 年頃を境に大きく変化した. それは 1995 年以降に開始された Hi-net (防災科学技術研究所

(防災科研) 高感度地震観測網) の整備が 2003 年に終わり, それ以前に比べ震源決定精度と観測数が大きく向上した結果である. 従って, Hi-net のデータ整備 (2003 年頃) 以前と以後に分けてプレートの形状の解釈の変遷を, それぞれが用いた震源分布と比較しながら検討するが, 第 2 図 (A) に示された地震の発生様式 (中央防災会議, 2004) は, 第 2 図 (B) に示されている地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2014) の地震発生様式においても, 基本的には現在も踏襲されていることに留意する.

3. フィリピン海プレートの沈み込みの形状 (Hi-net 以前)

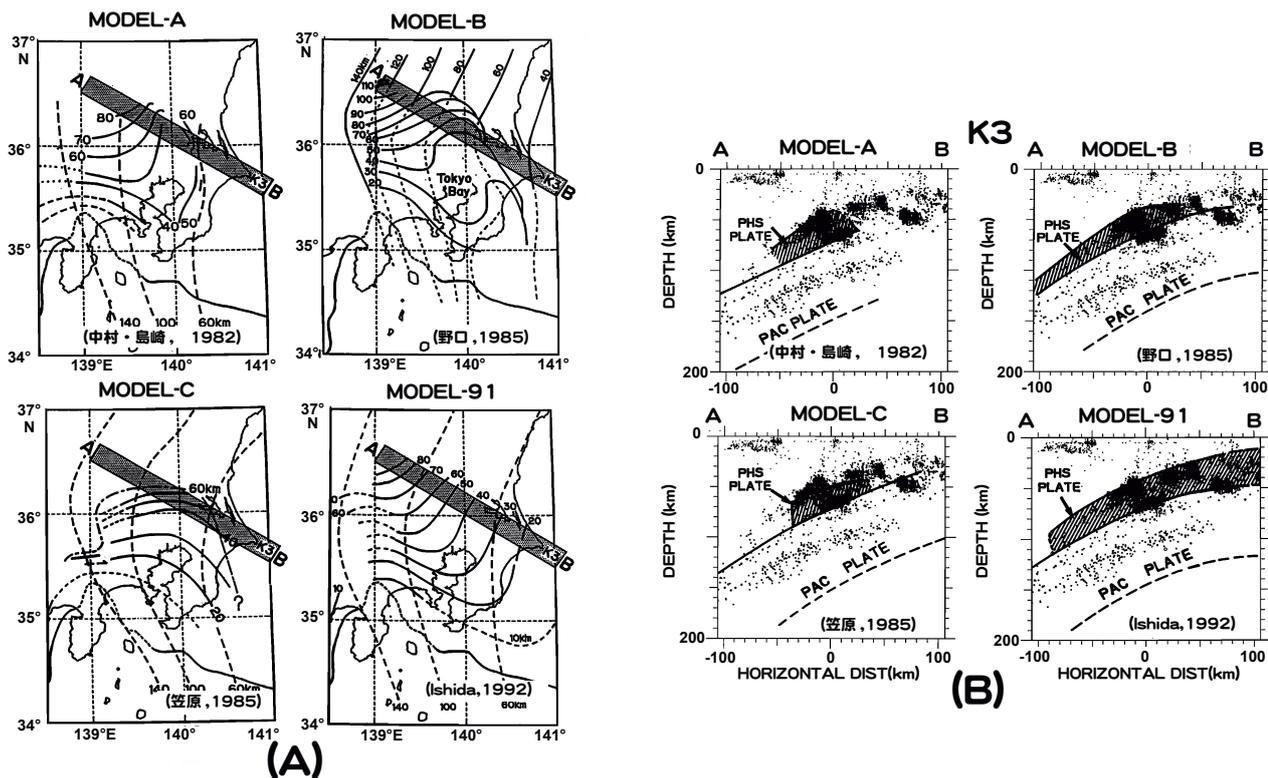
首都圏の下方に沈み込む PHS プレートの形状のモデルは, 1980 年代初めから多くの研究者がそれぞれに取り組み, モデルの提案をしている. 第 3 図 (A) は, 2000 年以前に, 主に震源分布に基づいて求められた PHS 及び PAC プレート上面の等深線を示しているが, 研究者によりそれぞれ示されているような違いが認められる. 特に, 第 3 図 (B) に示されている首都圏の北東端 (第 3 図 (A) の影で示した位置) での PHS 及び PAC プレートの垂直断面上に投影された形状は, モデル毎にかなり異なっている. これは, 震源分布に基づきプレートの形状を一意的に求めることが難しい事を示している.

第 4 図 (A) の首都圏における PHS プレート等深線分布図 (Ishida, 1992) も, 震源分布に基づいて求められている. 使われた震源データは, 防災科研関東東海地域地震観測網のデータを用いて三次元速度構造を求め, 再決定した結果に基づいている. 第 4 図 (A) に示されている測線の垂直断面の形状 (同図 (B)) が前節で述べた第 2 図の首都圏のプレートの形状に反映されてきたと考えられる.

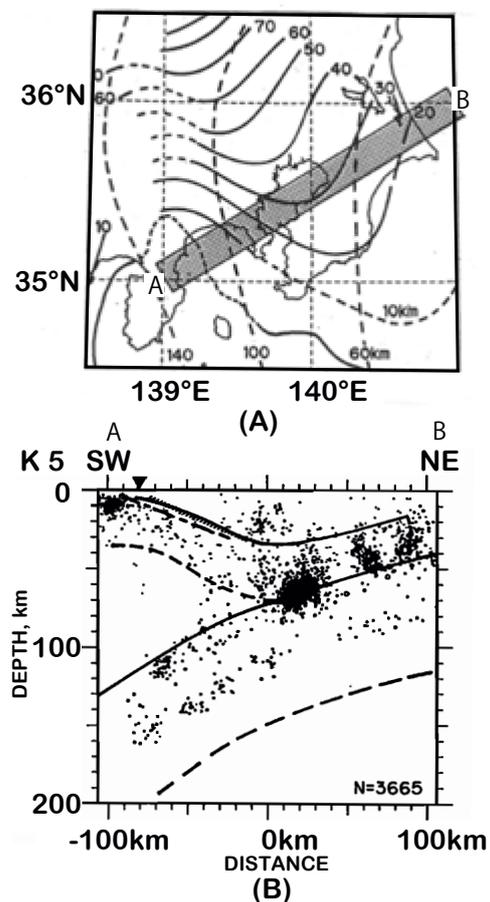
しかし, 首都圏の地震観測網は, 2003 年以降格段に改善され, 震源決定精度も向上した. 一般に, 沈み込む海洋プレートの形状は震源分布を基準に求められているため, 現在用いられている第 2 図 (B) の PHS プレートの形状が最近の地震観測網で観測された結果を反映しているかどうかを調べてみた.

4. Hi-net のデータを用いたプレートの形状

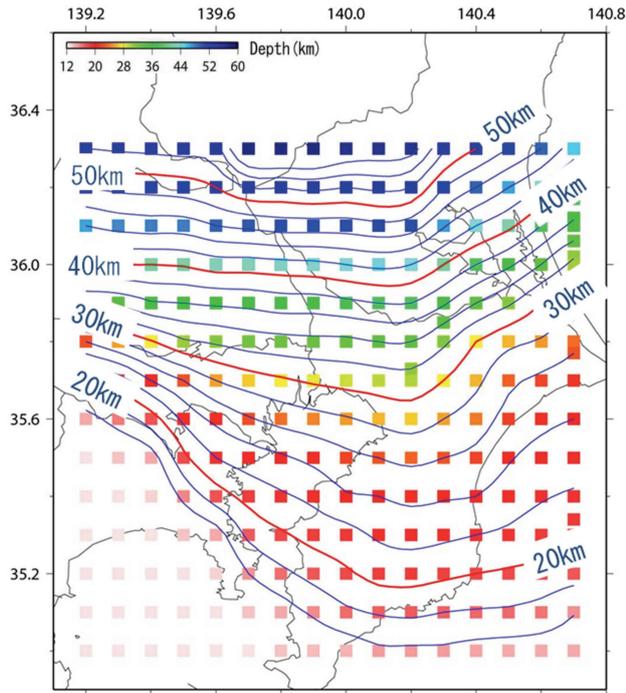
首都圏に於いて, 2011 年の東日本大震災を契機に, 2004 年当時の検討では想定対象とされていなかった関東大地震クラスの地震も想定対象として検討すべきであるということが指摘された. その結果, 最新の科学的知見を踏まえて首都直下で想定される地震の規模・揺れ・津波等に



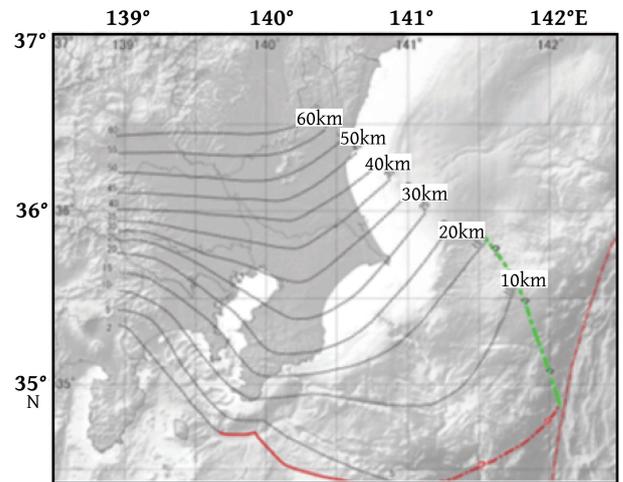
第3図 1980～2000年に求められたPHSプレートとPACプレート上面の等深線分布モデルの比較。(A) PHSプレート(実線)とPACプレート(破線)の等深線分布。(B)図(A)の測線A-Bに沿う垂直断面上に投影された震源とPHSプレート(影を施した部分)とPACプレートの形状。震源は、Ishida(1992)により再決定された結果を示す。MODEL-Aは中村・島崎(1981)、MODEL-Bは野口(1985)、MODEL-Cは笠原(1985)。MODEL-91はIshida(1992)。



第4図 首都圏のPHS & PACプレートの形状(Ishida, 1992)。(A)首都圏のPHSプレートとPACプレートの等深線分布。(B)図(A)の測線ABに沿う垂直断面上に投影された震源分布とPHS及びPACプレートの形状。



(A)



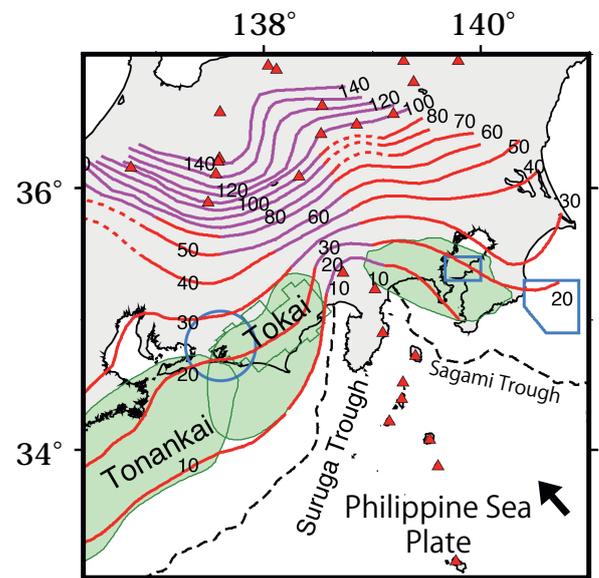
(B)

第5図 PHSプレート上面の深さ分布。(A) 東京大学地震研究所ほか(2012), 酒井(2012)。(B) 首都直下地震モデル検討会(2013)に加筆。第4図(A)の等深線に対して, 約10km浅く求められている。

ついて点検し見直すために, 内閣府に首都直下地震モデル検討会が設置された(首都直下地震モデル検討会, 2013)。

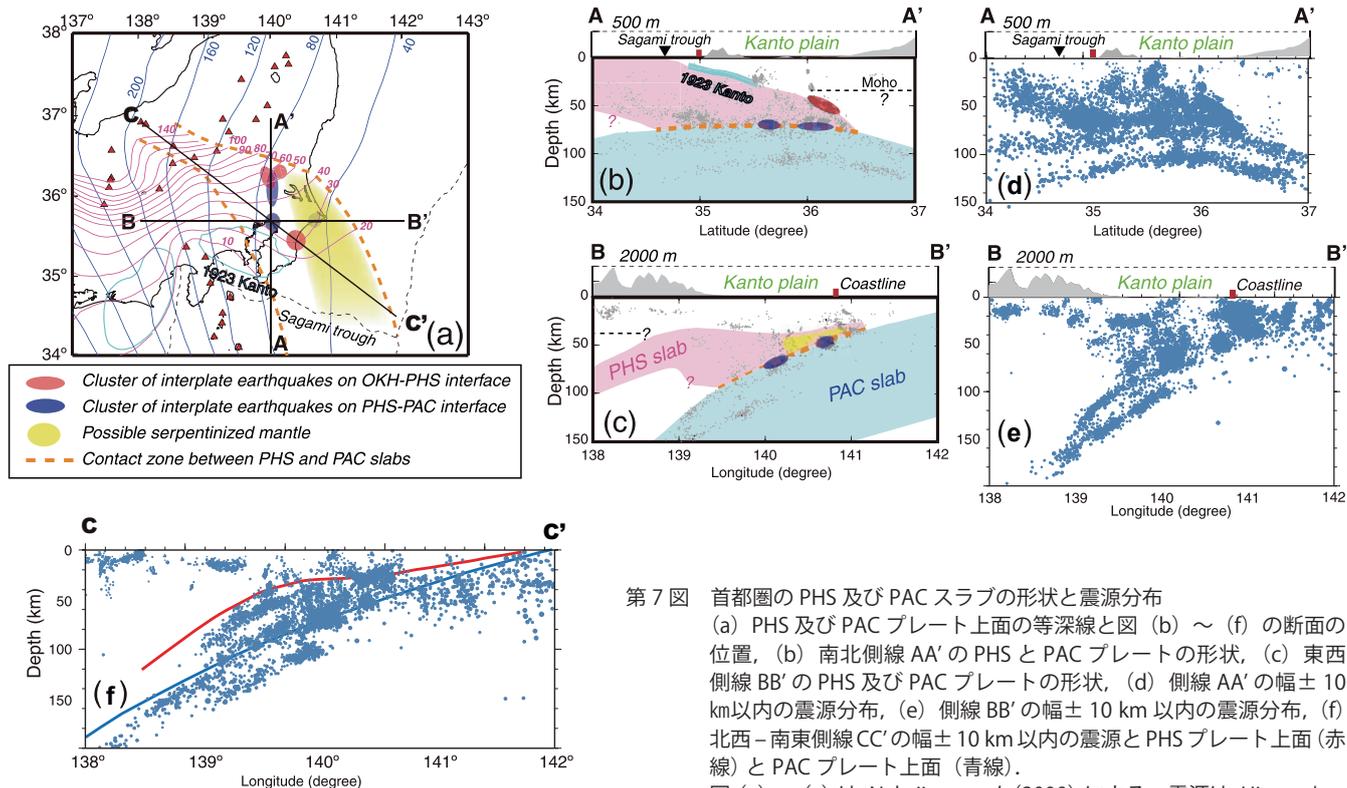
2003年以降の地震観測網の充実により, 最近では三次元速度構造の改定や反射波などを用いた研究も進められ, PHSプレートの形状も見直され, 新たなモデルが提案され用いられるようになった。それらのモデルが第5図に示されている。第5図(A)は, 首都直下地震防災減災特別プロジェクト(東京大学地震研究所ほか, 2012)により求められたPHSプレート上面の深さ分布を示している(酒井, 2012)。これに対して第5図(B)は首都直下地震モデル検討会(2013)の結果で, 佐藤(2012)に海洋研究開発機構, 東京大学地震研究所, 海上保安庁による海域での構造探査資料を加えて作成されたPHSプレート上面の形状である。第5図(B)のモデルは相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版)(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014)などにも用いられているが, 中央防災会議(2004)で用いた形状(第4図(A))に比べて, 等深線が10km程度浅くなっていると報告されている。

一方, 最近多くの研究者が用いているプレート上面の形状は, 弘瀬ほか(2008)によるPHSプレート上面の形状(第6図)である。これは, Double-Difference Tomography法(Zhang and Thurber, 2003)により求められた速度構造



第6図 PHSプレート上面の等深線分布(Hirose, Fuyuki Hirose's HPの図の一部に加筆, <http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/fhirose/en/en.PHShtml> 2019年2月28日確認)

を用いて気象庁一元化震源カタログの震源データを再決定した結果に基づいている。Nakajima *et al.* (2009)はこの弘瀬ほか(2008)によるプレートの等深線分布に基づいて, 首都圏下へのPHSおよびPACプレートの沈み込みの特徴を以下のように説明している(第7図(a) - (c))。



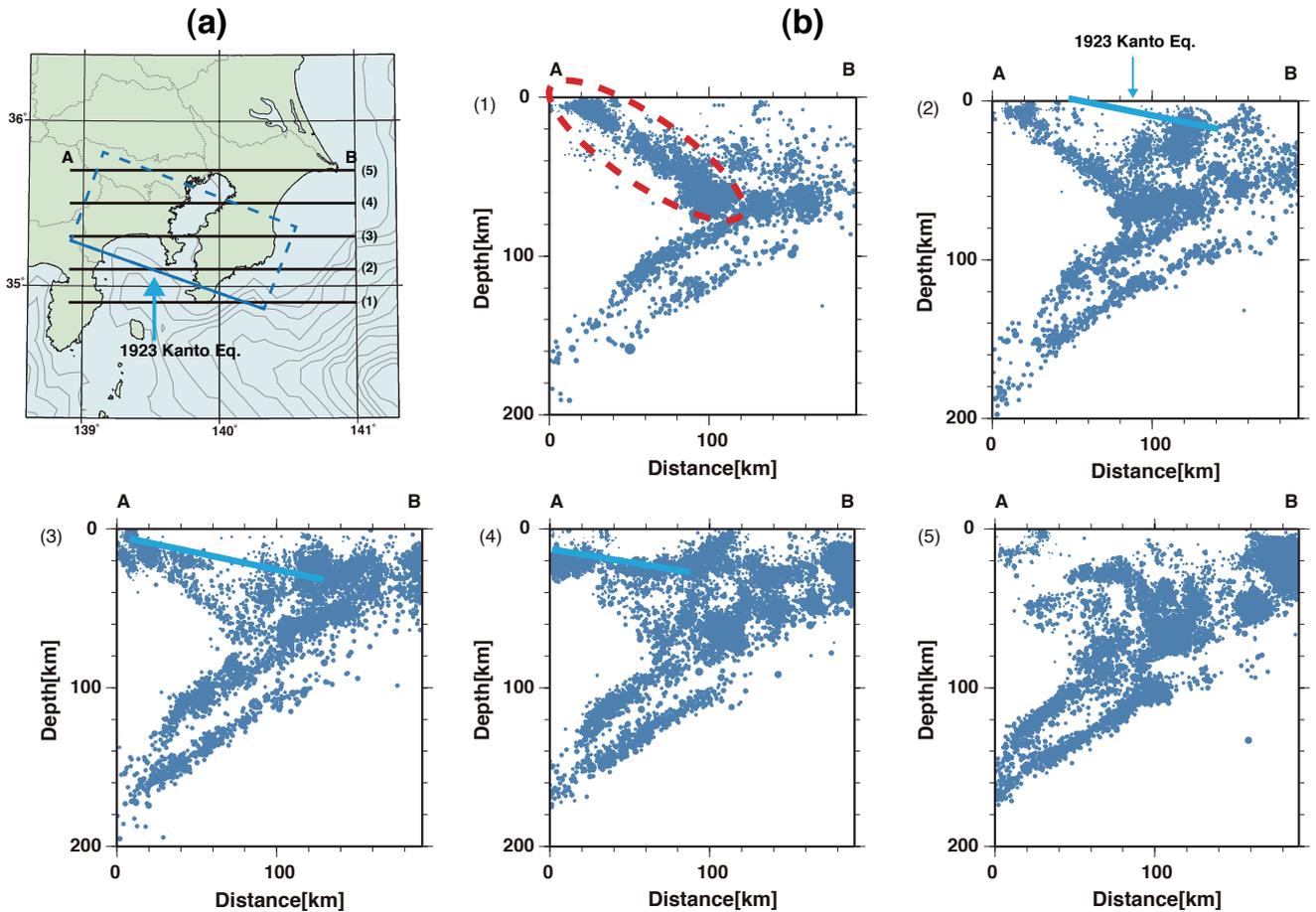
第7図 首都圏の PHS 及び PAC スラブの形状と震源分布
 (a) PHS 及び PAC プレート上面の等深線と図 (b) ~ (f) の断面の位置, (b) 南北側線 AA' の PHS と PAC プレートの形状, (c) 東西側線 BB' の PHS 及び PAC プレートの形状, (d) 側線 AA' の幅 ± 10 km 以内の震源分布, (e) 側線 BB' の幅 ± 10 km 以内の震源分布, (f) 北西 - 南東側線 CC' の幅 ± 10 km 以内の震源と PHS プレート上面 (赤線) と PAC プレート上面 (青線).
 図 (a) ~ (c) は, Nakajima *et al.* (2009) による. 震源は, Hi-net ルーチン震源 (2003 年 1 月 ~ 2019 年 1 月).

第7図は, (a) に南北断面 A-A', 東西断面 B-B' の位置が, (b), (c) にそれぞれの断面に投影された震源と PHS・PAC プレートの形状が示されている. 第7図 (b), (c) では, PHS プレートと NA プレートの境界で発生していると説明される震源域が赤色で, PHS プレートと PAC プレートの境界で発生していると説明される震源域が濃紺で示されている. また, 1923 年関東地震の断層面は断面 (b) に, 青線で示されている. これら南北断面 A-A', 東西断面 B-B' と両断面の間の北西 - 南東断面 C-C' (第7図 (a)) の各断面から ± 10 km 以内に発生した地震の震源を, 第7図 (d), (e), (f) に示した. 第7図 (f) には, 第7図 (a) に示されている PHS プレートと PAC プレートの等深線を示した. 第7図 (d), (e), (f) の震源分布をみると, 第7図 (b), (c) でプレートの形状を特徴づけているとして説明されている NA・PHS・PAC プレート間境界の地震活動というだけでは説明できない活発な地震活動がみられる.

一般に, 沈み込む PHS・PAC プレートの形状は, 震源分布や巨大地震の断層面の位置で求められているが, 第7図で示したように, 震源分布は多様であり, 現在提唱されているプレートの形状と一意的に結び付けた統合的説明は難しい. 特に, 大地震の発生が危惧されている首都圏へのプレートの沈み込みに関しての疑問を以下に整理する.

5. 考察

伊豆半島から房総半島を横断する測線 (第8図 (a)) に沿って投影された震源と 1923 年関東地震の断層面 (青実線) を第8図 (b) に示す. 第8図 (b) の垂直断面 (1) ~ (5) には, 断面から ± 10 km 以内に発生した地震の震源と, 関東地震の断層面 (Kanamori, 1972) が示されている. 従来プレート上面は, 連続する活発な地震活動や巨大地震の断層面で特徴づけられてきた. しかし第8図 (b) (1) ~ (5) の震源分布では, PHS プレート上面 (第2図 (B) ②) を示唆する活発な地震活動や 1923 年関東地震の断層面に一致する地震活動は明瞭では無い. 一方, 伊豆半島東部から東に傾き下がる顕著な地震活動 (第8図 (b), (1) 赤破線で囲った地震活動で, (2), (3) にも同様な活動がみられるが, (5) 辺りでは不明瞭になる) がみられる. この活動が, 相模トラフから沈み込んでいると説明されている PHS プレート上面の地震活動とは考えられない. 第2図 (B) で示されている地震の活動に照らし合わせると, 東西断面で下方に凹状の膨らみをもったプレートを仮定するだけでは説明することが難しい. 第7図 (c) に首都圏に沈み込む PHS プレートの東西断面の模式図が, (e) に震源分布が示されているが, 同断面は第8図 (b) (5) と同位置の断面であり, この断面の南方から PHS プレート



第8図 首都圏を東西に横断する垂直断面上の震源分布。(a) 測線の位置と1923年関東地震の断層面(Kanamori, 1972)。(b) 垂直断面上に投影された震源と関東地震の断層面。震源はHi-netデータ(2003年1月~2019年1月)。青実線:1923年関東地震(M7.9)の断層面(Kanamori, 1972)。赤破線:伊豆半島東部から傾き下がる明瞭な地震活動域。

が沈み込んでいると考えられている。さらに、その南側の東西断面が第8図(b)(1)~(4)である。これらの震源分布を見る限り、第2図(b)の模式図で示されているような、PHSプレートの沈み込みを示唆する地震活動を表しているとは言えない。首都圏下方へのPHSプレートの沈み込みに関しては、1980年代から伊豆半島の存在が、PHSプレートの首都圏(NAプレート)下方への単純な沈み込みを阻んでいるとして、様々な議論がなされてきた(例えば、伊藤・千葉, 1983)。第7図(d)~(f)や第8図(b)で見られるような複雑な地震活動を、伊豆島弧の衝突とPHSプレートの沈み込みに於けるテクトニックな位置付け(これまでと今後予測される巨大地震との関係を含めた影響)から再検討する必要があるのではないか。

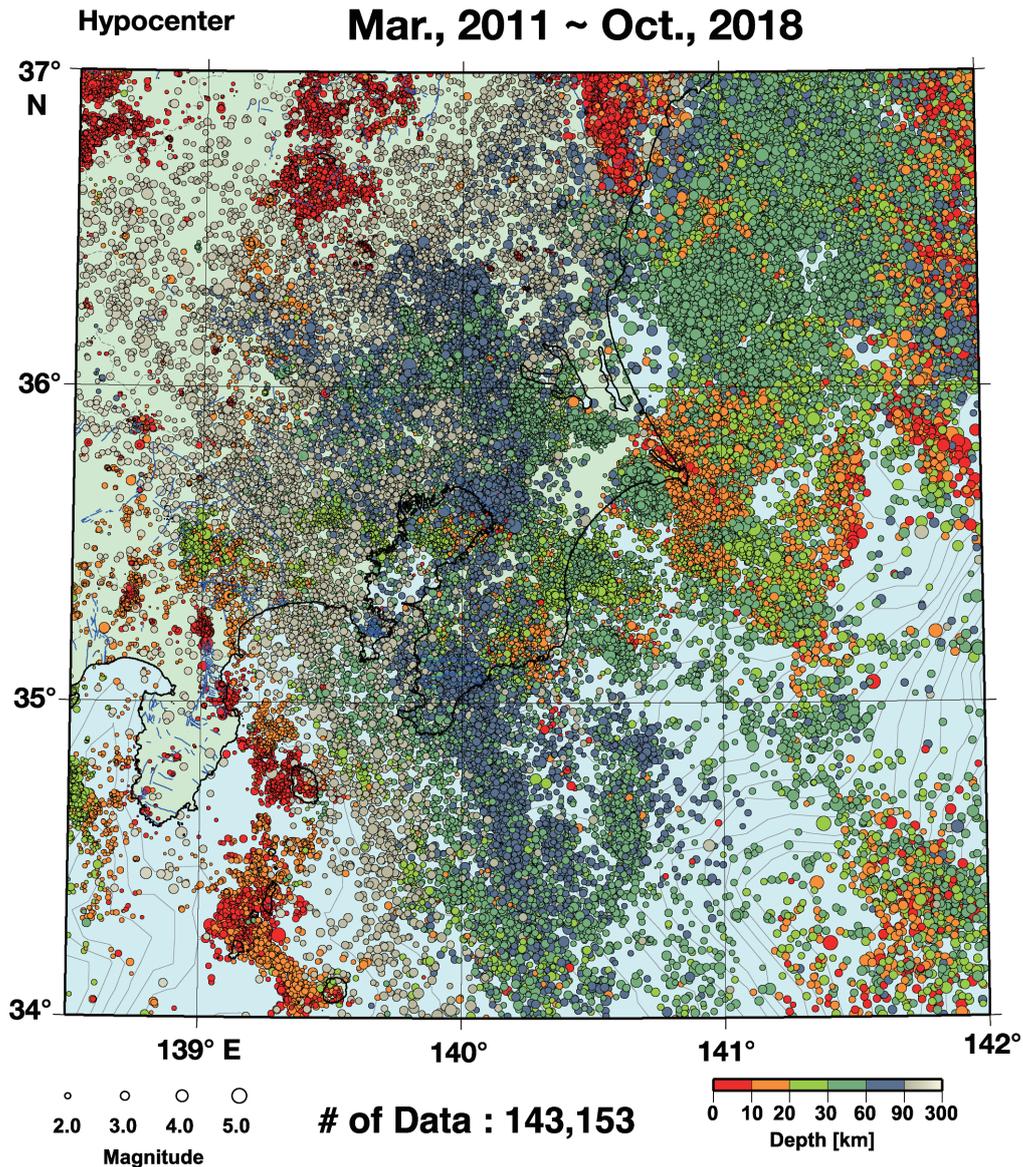
一方、第9図には、2011年3月から2018年10月までに発生した深さ200kmまでの地震の震源分布(Hi-netによる)を示す。特徴的な分布として、東経140.5度付近で、ほぼ南北に沿って深さ0~200kmまで殆ど地震が発生していない地域がある。この範囲は、長谷川ほか

(2013)で示されているPHSプレートの蛇紋岩化域内に位置するが、さらに下方に沈み込んでいるPACプレートまでも含めて地震が発生していない。こうした非地震域が何を意味しているかも、今後の課題であろう。

以上、本報告では首都圏における地震活動について、問題点の整理に留まっているが、今後このような問題も整理しつつ、さらなる研究の進展を望みたい。

文献

- 中央防災会議(2004)地震ワーキンググループ報告書, 中央防災会議首都直下地震対策専門調査会(第12回), 1-26.
- 長谷川昭・中島淳一・内田直希・海野徳仁(2013)東京直下に沈み込む2枚のプレートと首都直下の特異な地震活動, 地学雑誌, 122, 398-417.
- 弘瀬冬樹・中島淳一・長谷川昭(2008) Double-Difference Tomography法による関東地方の3次元地震波速度



第9図 首都圏の震源分布 (Hi-net ルーチン震源). 深さ 0 ~ 200 km (2011 年 3 月 ~ 2018 年 10 月)

構造およびフィリピン海プレートの形状の推定. 地震
2, 60, 123-138.

Ishida, M. (1992) Geometry and relative motion of the
Philippine Sea Plate and Pacific Plate beneath the
Kanto-Tokai District, Japan. *J. Geophys. Res.*, **97**, 489-
513.

伊藤谷生・千葉達朗 (1983) 関東地方周辺のプレートシス
テム, URBAN KUBOTA, no. 21, 52-55.

地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2014) 相模トラ
フ沿いの地震活動の長期評価 (第二版) について, 地
震調査研究推進本部報告書, 81p.

Kanamori, H. (1972) Faulting of the great Kanto earthquake
of 1923 as revealed by seismological data. *Bull. Earthq.*

Res. Inst., **49**, 13-18.

笠原敬司 (1985) プレートが三重会合する関東・東海地
方の地殻活動様式, 国立防災科学技術センター研究報
告, **35**, 33-137.

Nakajima, J., Hirose, F. and Hasegawa, A. (2009)
Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan
area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap
on seismicity. *J. Geophys., Res.*, **114**, B08309,
doi:10.1029/2008JB006101.

中村一明・島崎邦彦 (1981) 相模・駿河トラフとプレ
ートの沈み込み. 科学, **51**, 490-498.

野口伸一 (1985) フィリピン海プレートの形状と茨城地
震活動の特徴. 月刊地球, **7**, 97-104.

- 酒井慎一 (2012) 首都直下における最新のプレート構造モデル. 地震予知連絡会の会報, **88**, 516-520.
- 佐藤比呂志 (2012) 相模トラフ・伊豆衝突帯のプレート境界断層, 首都直下地震モデル検討会(第10回)説明資料.
- 首都直下地震モデル検討会 (2013) 首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書(図表集), 内閣府中央防災会議報告書, 138p.
- 東京大学地震研究所・(独) 防災科学技術研究所・京都大学防災研究所 (2012) 首都直下地震防災・減災特別プロジェクト総括成果報告書, 142p.
- 東京都防災会議 (2012) 首都直下地震による東京の被害想定報告書資料編, 30p.
- Zhang, H. and Thurber, C. H. (2003) Double-Difference Tomography: The method and its application to the Hayward Fault, California. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **93**, 1875-1889.
-
- ISHIDA Mizuho and KIMURA Takeshi (2019) Complexity of the seismic activity in the Tokyo metropolitan area -Influence of the Izu Peninsula to give it to the subduction of the Philippine Sea plate.
-

(受付: 2019年3月6日)