

### 3.2.3 長時間地殻変動からみた首都圏下の地殻構造調査研究

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

関東地域南東部の過去 300 万年間の地殻上部変動経過を復元し、それをもたらしたプレート運動を最近 100 万年間にしぼって数値実験を通じて解明する。本研究の成果は、個別研究テーマ「制御震源を用いた地殻構造探査」で目的としている地殻と沈み込むプレートの相互作用について明らかにするもので、スラブ内変形についても拘束条件を与える。

##### (b) 平成 22 年度業務目的

- 1) 平成 21 年度までに収集した長期間の垂直地殻変動に関する地質学的データ・変動地形データ・測地データから知られる変形様式や変位速度について検討を行う。
- 2) 平成 21 年度までに完成した、プレート沈み込みおよび伊豆半島の衝突にともなう関東地方の長期地殻変動を求める計算プログラムに、プレート境界が時間変化する効果を加え、より現実的な地殻変動発達の数値実験を行う。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
千葉大学大学院理学研究科	教授	佐藤利典	
同	教授	伊藤谷生	
同	教授	宮内崇裕	
同	准教授	亀尾浩司	
同	准教授	金田平太郎	
同	助教	津村紀子	
同	特任研究員	橋間昭徳	

#### (2) 平成 22 年度の成果

##### (a) 業務の要約

- 1) 千葉県と千葉大学が姉崎—上総—ノ宮間で 2003 年に行った反射法地震探査のプロファイル (Chiba2003) は関東盆地のプロファイル群に時間目盛を入れる上での標準地震層序となり得るものである。2010 年度は 100 万年前と 50 万年前の鍵層準を房総半島内の他測線に追跡し、長期間にわたる垂直変動を推定した。しかしながら前年度において推定された垂直変動は鍵層準の現深度によって表現されたものであり、真の垂直変動量ではない。そこで今年度は、(1) 地質学的手法によって推定された鍵層準堆積時の深度によって補正し、より真実に近い垂直変動量を求めた。さらに 2008 年度に内房浅海域で行われた海上反射法地震探査結果と結合して、房総南部の垂直変動量を補強した。(2) 関東盆地全体に鍵層準を追跡するための基礎作業として、2002～2006 年の大大特測線群、各自治体の活断層・地下構造調査測線群、防災科技研測線群などの反射法断面を同一スケールで並置することを試みた。

2) 伊豆・小笠原弧の衝突によるプレート境界面の形状変化速度を求め、100 万年前のプレート境界形状を復元し、復元したプレート境界形状にもとづいて当時の上下変動場を求めた。まず、プレート境界形状は陸側プレートに規定されるので、プレート境界面の形状変化速度は、プレート境界上面における変位速度によって表されると仮定する。一方、衝突の効果は、プレート相対速度に対応するすべり速度からの欠損量によって表すことができる。そこで、衝突域におけるすべり速度欠損による内部変位速度場を計算することで、プレート境界面の形状変化速度を得た。次に、衝突の様相は最近 100 万年間で一定であったと仮定し、上で得られた変化速度から 100 万年前のプレート境界形状を復元した。復元したプレート境界を用いて当時の上下変動場を求めた。得られた上下変動場は、プレート境界の移動に合わせてパターンが移動するが、基本的に現在とそれほど変わらなかった。

#### (b) 業務の成果

##### 1) 関東地方の過去 300 万年間の地殻上部変動経過の復元

###### a) 房総半島

最近 100 万年、50 万年の垂直変動量評価については、浅尾(2008)<sup>1)</sup>による姉崎 - 上総一の宮測線(Chiba2003)(図 1)および古屋ら(2009)<sup>2)</sup>による内房浅海測線(Boso2008)のデータを基にして、ほぼ達成できた。その成果は以下の点にまとめられる。

- 1) 約 100 万年前に九十九里沖から鹿島にかけて NNE - SSW 方向の隆起帯が形成され、それ以降成長を続けている。そのおおよその隆起量は 1000m、平均隆起速度は 1mm/y となる。
- 2) これに伴ってそれまで南東方向に開いていた上総層群の堆積盆の南東縁が閉鎖され、堆積盆の沈降中心が房総中央部に新たに形成され、時代と共に西方に移動することになる。堆積盆中心の沈降量はおおよそ 1500m、沈降速度は 1.5mm/y に達する。
- 3) 房総半島南部ならび周辺海域はこの 100 万年間においておおよそ 1000m 程度隆起しているが、中央部では周辺海域よりも 300m 程度隆起量が大きい。おそらく房総半島南部において、遅くとも 100 万年前には NS 方向の隆起帯の形成が開始されたと考えられる。
- 4) これらの NNE-SSW ないし NS 方向の隆起帯の形成と成長は、フィリピン海プレートと太平洋プレートのインタラクションの関係からも注目されよう。

一方、おおよそ 300 万年前の黒滝不整合形成から 100 万年前までの地層については、地表で対応関係の確認される反射断面上の鍵層準が乏しい。当面、黒滝不整合の追跡が現実的であろう。

###### b) 関東盆地

今年度は、関東盆地で得られている反射法断面を同一スケールで並置させるところまで行った。この中で、房総半島で得られた約 50 万年前の鍵層準が南関東で広く追制可能であるとの予察的な結論を得ることができた。しかしながら、確実に鍵層準を追跡するためには、単に並置するだけではなく統合断面作成のために一部再処理を行う必要があることも確認された。

## 2) 伊豆・小笠原弧の衝突にともなう関東地方の長期地殻変動シミュレーション

平成 21 年度までに完成した関東地方の長期地殻変動を求める計算プログラムは、プレート境界形状が長期間一定と仮定した場合の定式化 (Sato & Matsu'ura, 1988<sup>3)</sup>) にもとづいている。しかし、特に衝突が起きている地域では、周囲に大きな変形場が形成され、それによってもプレート境界の形状自体も大きく時間変化していく、と考えられる。プレート境界形状が変化するとプレート間の力学的相互作用が変化し、形成される内部変形場も変化する。このようなフィードバック関係のもとで、プレート間の力学的相互作用(プレート境界形状・すべり速度分布)と内部変形場は、ともに時間発展していく (Takada & Matsu'ura, 2007<sup>4)</sup>; Hashima et al., 2008a<sup>5)</sup>)。このことは、伊豆・小笠原弧だけではなく、代表的な衝突帯であるインド ユーラシア大陸衝突帯においてもプレート境界が陸側に大きく屈曲している、という事実からもうかがえる。このプレート境界形状が時間変化する効果は、Takada & Matsu'ura (2007)<sup>4)</sup> によって取り入れられ、ヒマラヤ山脈下の衝上断層、分岐断層の形状発展の計算に用いられた。本年度は、Takada & Matsu'ura (2007)<sup>4)</sup> の方法にしたがい、平成 21 年度までに作成した長期地殻変動を求める計算プログラムに、プレート境界形状の時間変化の効果を取り入れ、より現実的な長期地殻変動の計算プログラムを作成した。

### a) プレート境界形状と内部変形場の時間発展モデル

まず、プレート境界形状の変化速度は以下のように求めることができる。プレート沈み込み帯においては、プレート境界に対して、陸側プレート物質は付加作用または構造侵食の効果のをのぞけば、長期間そこにとどまっているが、沈み込む海側プレート物質は時間と共に深部へと移動する。したがって、プレート境界形状は陸側プレートに規定されると考えるのが自然である。そこで、プレート境界面の形状変化速度は、プレート境界上面(陸側)における変位速度によって表されると仮定する。計算上は、プレート境界の陸側近傍の点を取り、変位速度を求め、面的に補間することで、プレート境界面の形状変化速度とする。一方、衝突の効果は、プレート相対速度に対応するすべり速度からの欠損量によって表すことができる (Takada & Matsu'ura, 2004<sup>6)</sup>; Hashimoto & Matsu'ura, 2006<sup>7)</sup>)。そこで、衝突域におけるすべり速度欠損による内部変位速度場を計算することで、衝突によるプレート境界面の形状変化速度を得ることができる。

プレート境界面の形状変化速度が得られれば、ただちに十分短い時間  $t$  に関する変形量が得られ、したがって  $t$  前のプレート境界が得られる。一方、長期間にわたるプレート境界の形状発展に関しては、プレート境界面の形状変化速度あるいは内部変位速度場がプレート境界の形状自体に依存するので、プレート境界形状とその変化速度をともに時間ステップごとに求めていく必要がある (Takada & Matsu'ura, 2007<sup>4)</sup>; Hashima et al., 2008a<sup>5)</sup>)。

### b) 関東地方の 100 万年前の地殻変動計算

a) で述べた方法を関東地方に適用し、100 万年前のプレート境界と上下変動場を求める。上下変動場の計算において入力データとして与えるのは、プレート境界形状とプレート

境界面におけるすべり速度分布、およびリソスフェア アセノスフェアの物性構造である。プレート境界形状としては CAMP 標準モデル (Hashimoto et al., 2004<sup>8)</sup>) を用い、すべり速度分布としては NUVEL-1A モデル (DeMets et al., 1994<sup>9)</sup>) によって計算した地表面におけるプレート相対速度をプレート境界面に投影して求めた (Hashimoto et al., 2004<sup>8)</sup>)。衝突域は伊豆半島を中心とした幅 100 km 程度の領域として、ここにすべり速度欠損を与えた。簡単のために衝突率は衝突域で一様に 100%とした。リソスフェア アセノスフェア構造としては、弾性-粘弾性二層構造媒質を用いた。各層の物性定数は表 1 に示した。弾性 粘弾性層構造媒質による内部力源(ここでは断層すべり)による内部変形場の計算には Hashima et al. (2008b) <sup>10)</sup> の表現式を用いた。

図 2 に、プレート境界面の形状変化速度を示す。衝突域において陸側への大きな形状変化速度が見られ、衝突によって陸側プレートが押し込まれることを示している。形状変化速度は深部ほど小さくなるので、プレート境界形状は、水平方向の形状だけでなく、鉛直断面においても大きく変化していることがわかる。ここで得られた衝突によるプレート境界面の形状変化速度は平均すると 10 mm/yr 程度であり、100 万年間の変形を考えるとプレート境界の移動は 10 km 程度となる。一方で、計算に使用しているプレート境界形状やすべり速度分布は波長 100 km 程度で変化しているため、この間に衝突の様相が全くかわらないとするならば、プレート境界形状の変形は第 1 次近似としては無限小変形として取り扱っても差し支えない。したがって、100 万年前のプレート境界形状は、プレート境界面の形状変化速度からただちに復元することができる(図 3)。

復元したプレート境界を用いて当時の上下変動場を求めた。図 4 に、得られた 100 万年前の変位速度場と現在の変位速度場を示す。100 万年前と現在の上下変動パターンは、プレート境界の移動に合わせてパターンが多少移動するが、房総半島南部と関東・赤石山地の隆起、関東平野中央部での沈降という基本パターンは現在とそれほど変わらなかった。

### (c) 結論ならびに今後の課題

1) 房総半島における最近 100 万年、50 万年の垂直変動量評価についてはほぼ達成した。これを受けて今後の課題は以下の 2 点にまとめられる。

- ・個別研究テーマ「制御震源を用いた地殻構造探査」において得られた、関東盆地の反射法地震探査データの再処理結果を受けて、統合断面を作成し、それらに房総半島鍵層準からの追跡結果を記入する。おおよそ 300 万年前の黒滝不整合の追跡も行う。
- ・上記の鍵層準、黒滝不整合の追跡結果と、それらの堆積深度の推定から垂直変動量と変動速度を導き、シミュレーション班に提供する。

2) シミュレーション班は、伊豆・小笠原弧の衝突によるプレート境界形状の変化速度を求め、100 万年前のプレート境界形状を復元し、復元したプレート境界形状にもとづいて当時の上下変動場を求めた。プレート境界形状の変化速度をプレート境界上面における変位速度によって表し、衝突の効果をプレート相対速度に対応するすべり速度からの欠損量によって表し、プレート境界面の形状変化速度を得た。次に、衝突の様相は最近 100 万年間で一定であったと仮定し、上で得られた変化速度から 100 万年前のプレート境界形状を復元した。復元したプレート境界を用いて当時の上下変動場を求めた。得られた変位速度場

は、プレート境界の移動に合わせてパターンが移動するが、基本的に現在とそれほど変わらなかった。今後は、データ班によって得られた上下変動を満たす、長期的な伊豆・小笠原弧の衝突モデルを提示する。

(d) 引用文献

- 1) 浅尾一巳：反射法地震探査により解明された上総 - 下総層群堆積盆の形成過程，千葉大学博士論文，2008．
- 2) 古屋裕，伊藤谷生，佐藤比呂志，平田直，駒田希充，津村紀子，浅尾一巳，荒井良祐，半場康弘：反射法地震探査による房総半島南西部内房沿岸の浅部地下構造．地震研究所彙報, Vol.84, pp.307-329, 2009.
- 3) Sato, T. and Matsu'ura, M.: A kinematic model for deformation of the lithosphere at subduction zones, J. Geophys. Res., Vol. 93, No.B6, pp.6410-6418, 1988.
- 4) Takada, Y. and Matsu'ura, M.: Geometric evolution of a plate interface-branch fault system: Its effects on the tectonic development of the Himalayas, J. Asian Earth Sci., Vol. 29, pp.490-503, 2007.
- 5) Hashima, A., Fukahata, Y. and Matsu'ura, M.: 3-D simulation of tectonic evolution of the Mariana arc-back-arc system with a coupled model of plate subduction and back-arc spreading, Tectonophysics, Vol. 458, pp.127-136, 2008.
- 6) Takada, Y. and Matsu'ura, M.: A unified interpretation of vertical movement in Himalaya and horizontal deformation in Tibet on the basis of elastic and viscoelastic dislocation theory, Tectonophysics, Vol. 383, pp.105-131, 2004.
- 7) Hashimoto, C. and Matsu'ura, M.: 3-D Simulation of Tectonic Loading at Convergent Plate Boundary Zones: Internal Stress Fields in Northeast Japan, Pure Appl. Geophys., Vol. 163, pp. 1803-1817, 2006
- 8) Hashimoto, C., Fukui, K. and Matsu'ura, M.: 3-D modelling of plate interfaces and numerical simulation of long-term crustal deformation in and around Japan, Pure Appl. Geophys., Vol. 161 No.9-10, pp.2053-2068, 2004.
- 9) DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F. and Stein, S.: Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, Geophys. Res. Lett., Vol. 21, No.20, pp.2191-2194, 1994.
- 10) Hashima, A., Takada, Y., Fukahata, Y. and Matsu'ura, M.: General expressions for internal deformation due to a moment tensor in an elastic/viscoelastic multilayered half-space, Geophys. J. Int., Vol. 175, No.3, pp.992-1012, 2008.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別

伊豆・小笠原弧の衝突方向による関東地方の長期的隆起沈降分布の違い(ポスター)	橋間昭徳・佐藤利典・伊藤谷生・宮内崇裕	日本地球惑星科学連合2010年大会	平成22年5月25日	国内
伊豆・小笠原弧の衝突による関東地方の長期地殻変動パターンの時間発展シミュレーション	橋間昭徳・佐藤利典・伊藤谷生・宮内崇裕	日本地震学会2010年秋季大会	平成22年10月27日	国内
伊豆・小笠原弧の衝突による関東地方の長期地殻変動シミュレーション	橋間昭徳・佐藤利典・伊藤谷生・宮内崇裕	日本地質学会関東支部 日本第四紀学会ジョイントシンポジウム「関東盆地の地下地質構造と形成史」	平成22年11月20日	国内
地震探査の進捗と地質・地殻構造研究の新展開：房総半島を例として	伊藤谷生・浅尾一巳	日本地質学会関東支部 日本第四紀学会ジョイントシンポジウム「関東盆地の地下地質構造と形成史」	平成22年11月21日	国内
3-D simulation of temporal change in tectonic deformation pattern and evolution of the plate boundary around the Kanto Region of Japan due to the collision of the Izu-Bonin Arc	Hashima, A., Sato, T., Ito, T., Miyauchi, T., Furuya, H., Tsumura, N., Kameo, K., Yamamoto, S.	American Geophysical Union 2010 Fall Meeting	平成22年12月13日	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成 2 3 年度業務計画案

平成 23 年度は、データ班は、房総半島において得られた 100 万年前と 50 万年前の鍵層準を関東盆地全体に追跡し、100 万年間、50 万年間の上下変動を求める。すでに変動地形学的方法で得られている 7000 年、12.5 万年スケールの上下変動と合わせて、最近 100 万年間の地殻上下変動を復元する。シミュレーション班は、データ班によって得られた上下変動を満たす、長期的な伊豆・小笠原弧の衝突モデルを提示する。最後に、両班合同で、関東地方の長期的地殻変動モデルについて検討し、まとめを行う。

表 1 . 計算に用いたリソスフェア・アセノスフェア構造の物性定数

	層厚(km)	密度(kg/m <sup>3</sup> )	(GPa)	剛性率(GPa)	粘性率(Pa s)
リソスフェア	40	3000	40	40	
アセノスフェア		3400	90	60	$5 \times 10^{18}$

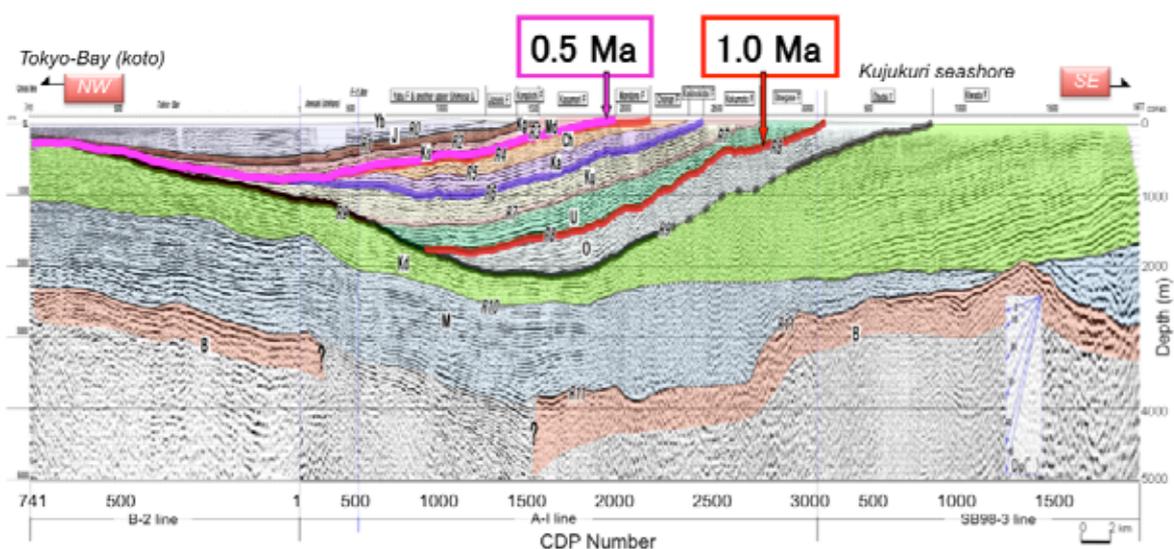


図 1 . 浅尾(2008)による姉崎 - 上総一ノ宮測線における反射法断面と 50 万年前(0.5Ma) ならびに 100 万年前(1Ma) の鍵層準

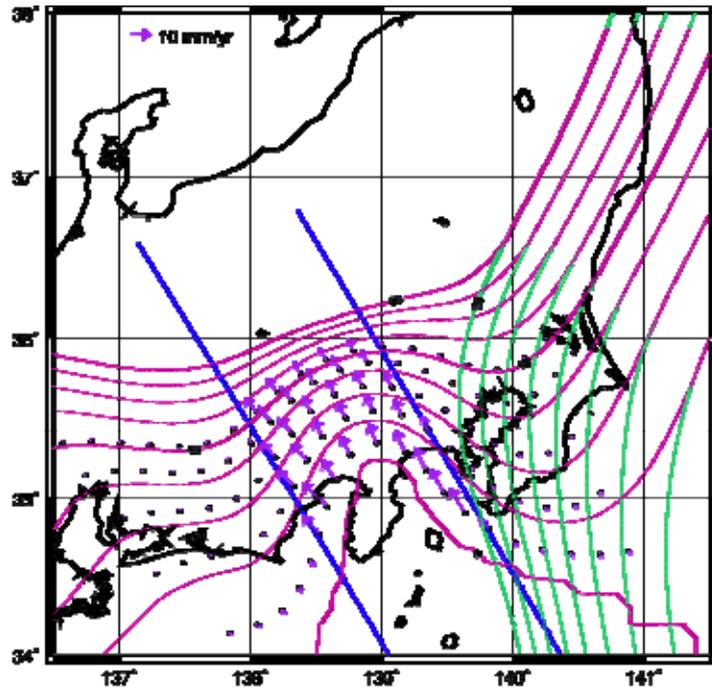


図 2 . プレート境界面の形状変化速度(mm/yr)。赤線は、フィリピン海プレートとユーラシア・北アメリカプレートのプレート境界面。緑線は太平洋プレートと北アメリカ・フィリピン海プレートのプレート境界面。2本の青線で挟まれた領域が衝突域。

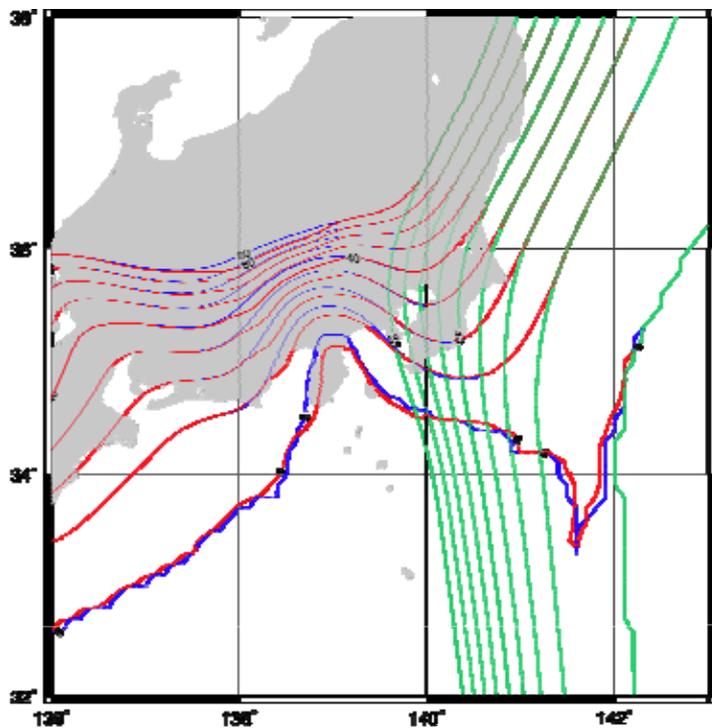


図 3 . 100 万年前のフィリピン海プレートとユーラシア・北アメリカプレートのプレート境界形状(赤線)。青線は現在の形状。緑線は太平洋プレートと北アメリカ・フィリピン海プレートのプレート境界面。

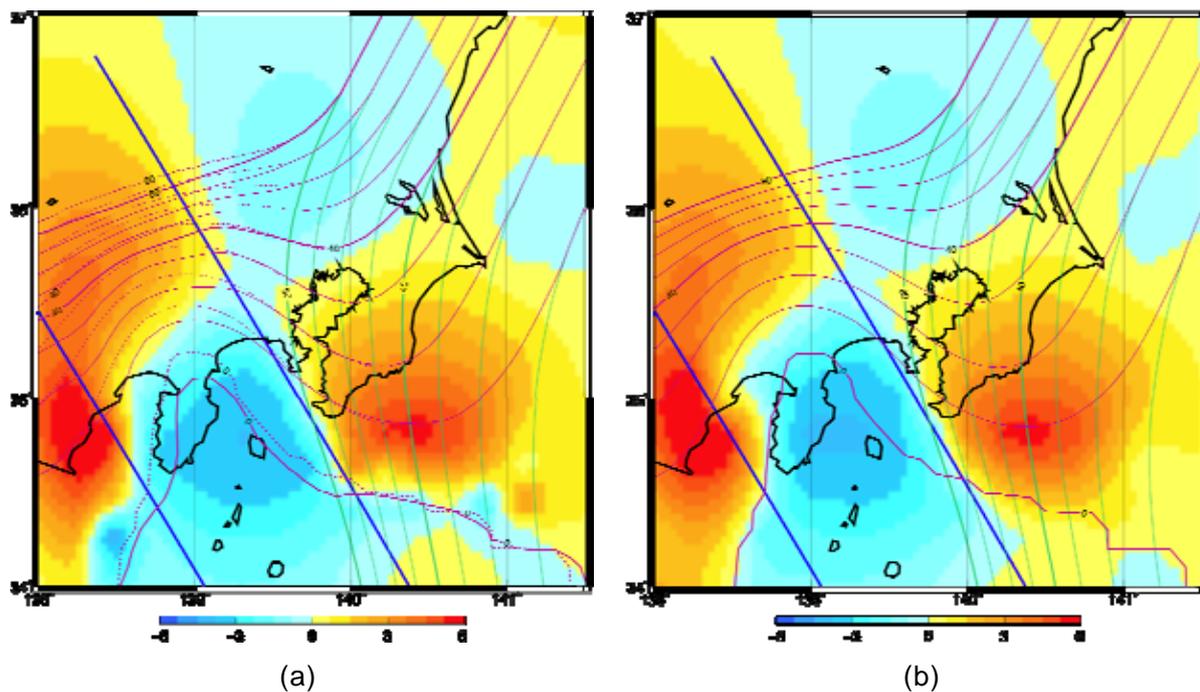


図 4 . (a)100 万年前と(b)現在の上下変動 ( mm/yr )。赤線は、フィリピン海プレートとユーラシア・北アメリカプレートの各時点におけるプレート境界面。(a)では現在の境界面を赤点線で表示。緑線は太平洋プレートと北アメリカ・フィリピン海プレートのプレート境界面。2 本の青線で挟まれた領域が衝突域。