

3.11東北大地震のメカニズム解明→予知が見えた

- 1 3.11東北大地震のメカニズム解明
- 2 スラブの固着プロセスと剥がれるプロセス
- 3 3種類の海溝型地震
- 4 予知が見えた
- 5 海溝外壁正断層地震と津波災害；次は房総半島が危険

1

1 はじめに

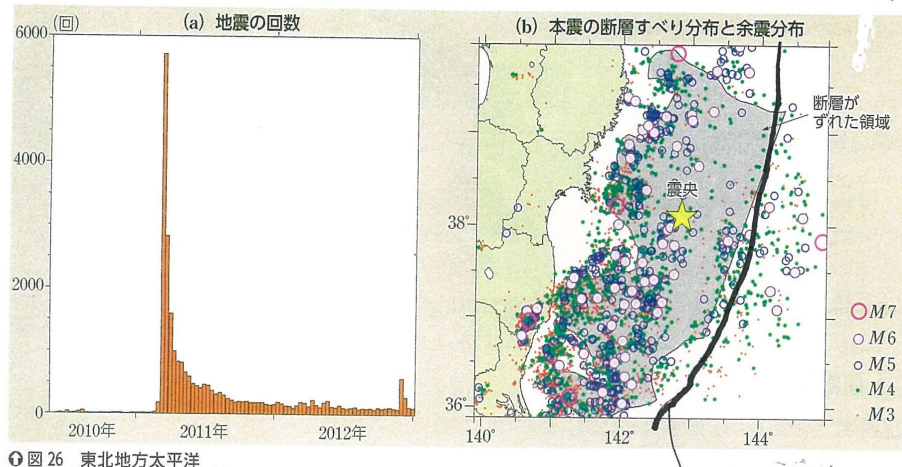
- 国際津波防災学会；2017年発足、7年間の総まとめ（超学際学会として発足）を行う
- 地震学は波動論だけでは地震の機構の理解には届かない。これを突破するには、20を超える専門分野（①地震学→インバージョン、②物性、③鉱物学、④岩石学、⑤熱力学、⑥構造地質、⑦地域地質学、⑧マグマ学、⑨続成作用、⑩広域変成作用、⑪地域地質学、⑫地殻流体、⑬溶液論、⑭トモグラフィー、⑮海底地質、⑯地形学、⑰数値計算、⑱沈み込み帯の熱構造、⑲岩石力学、⑳海溝扇状地の年代測定法、㉑応用科学（医薬農工、人文社会科学）など超学際融合が必要

2

1 3.11東北大地震のメカニズム解明

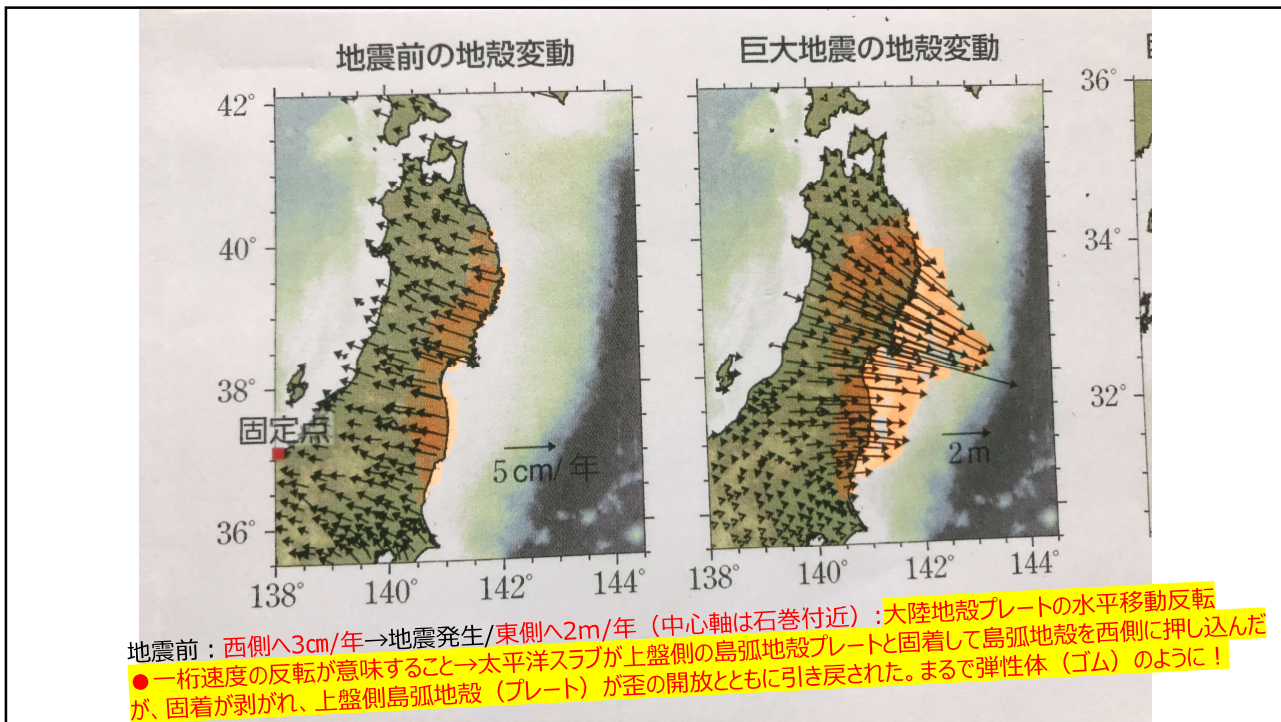
- 1 GPS1,300点（+ 海底GPS数点）の観測結果
- 2 最初の5分間の連続観測結果
- 3 M=9.0本震に始まる断層面の拡大と海底面の垂直方向の変化
- 4 スラブの固着がどこで起きたのか？
- 5 スラブの固着が剥がれる機構

3



④ 図26 東北地方太平洋沖地震前後の地震活動の変化 (b)では、本震の震央を☆で、余震の分布を○で示した。余震が発生する領域を余震域とよぶ。余震域は、本震で断層がずれた領域とほぼ一致する。

4



5



6

東西断面図で表現すると

● 水平方向の運動は太平洋プレートの年間速度10cm西側への押し込み速度が約1/4に減速しているが、反転速度が最大4mでゴムのように40倍に加速した。この反転はほぼ一瞬であった。問題は大陸地殻プレートが間違いなく剛体であるにもかかわらず、弾性体のように振舞ったことである。理由は後述する。

● 反転が何故起きたのか

● 西側への引きずり速度が太平洋スラブの速度の1/4に減衰しが、反転直後に40倍に加速したのはなぜか？

● **回答**：①太平洋スラブが島弧地殻プレートと固着して西側へ島弧地殻を押し込んだ。②島弧地殻プレートが西傾斜20度の力学境界断層に沿って割れて地殻が2分されて地殻の下部に押し込まれ、150km東西幅×450km南北長の断層面が数分けて生まれた。このままの状態が続けば、海溝が、日本海溝からこの力学境界に位置にジャンプする筈だが、そうならず元位置に戻った。③その理由は、ほぼ同時にスラブの固着が剥がれ、東西圧縮と歪が解消されて、太平洋スラブがslip-freeの状態となり、通常の10cm/年の速度で歪なしの沈み込みに戻ったからだ。

7

続

- 4 東北地域表層のGPSの記録は、分速4cmの速度で（ほぼ一瞬に（スラブ＋上盤側大陸地殻）が、西方へ移動したが、直後に力学境界断層が活動した為に、上盤側プレートは逆方向（海側）に運動の切り返しが起きた。この切り返しの原因は、スラブトップ（太平洋プレート）の固着域が剥がれた為と思われる。その瞬間に歪は開放され、以降、通常の太平洋プレートのスムーズな沈み込みが継続している。
- 従って、通常では起きえない『太平洋スラブの固着（＋上盤側大陸地殻＝付加体など）』が地震直前に広範囲（南北400km、東西20－30km幅）に広がり、更に、短時間のうちに固着域が剥がれたと説明できる。では剥がれた原因は何だったのかを突き止めることが、次の大地震予測に繋がるカギとなる。

8

地表の弾性体的振る舞いは何を物語る？

- 答：野外地質学者の出番：東北日本の地質図を見るとすぐわかる。巨大な断層が数列地表に露出している。更に地下数km以内に、西南日本のMTL（古期の水平断層）や四万十帯を3列に分ける大断層（大量の熱水ー水を含む緩衝材）や、火山フロント直下は花崗岩が粘性流体（アセノスフェア：弾性体）となっている状態である。このことを前提において、GPS1,300点の移動ベクトルの地域差が大きい場所と少ない場所を比較すれば分かる。室内実験から、花崗岩は低温では剛体、熱水が過剰な状態では350℃以上で粘性流体になる。大陸地殻では350℃が粘性流体（アセノスフェア）と剛体（プレート）の境界である。

9

3 GPS1,300点の観測結果； 最初の5分間の時空分布変化

10

20110311東北大地震の本震直後の地震 ($M > 1$) の震源の拡大と断層面のすべり量の変化

- 0-1分後：震源 ($M=9.0$ 、地下20km) から東西150km、南北450km、厚さ10mの範囲に断層面が拡大
- 1-2分後：断層面は北北東に拡大し、断層面は20度西傾斜
- 2-3分後：断層面は海溝軸の西側斜面に露出したであろう
- 3-4分後：破壊は東側でほぼ終息した
- 4-5分後：最後に断層面は茨城から房総半島-関東平野に拡大し (余震活動) 関東平野直下に歪を蓄積しつつある

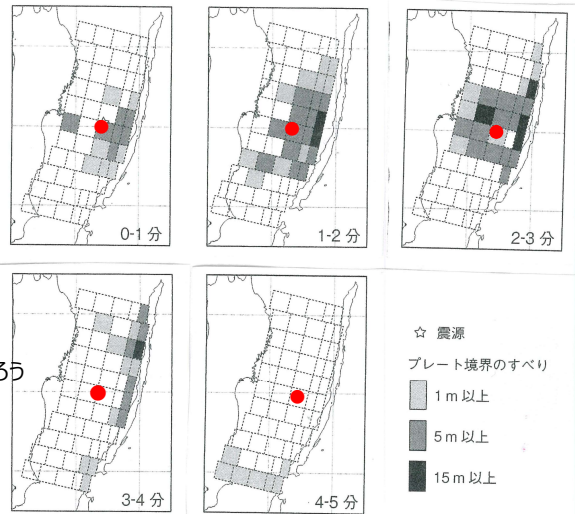


図0-2 東北地方太平洋沖地震の、断層面に沿ったずれの時間変化。Satake et al. (2013, BSSA) の解析をもとに図化した。断層がずれ始めてから1分ごとのずれの量をおおまかに示した。

11

どこが割れたのか？

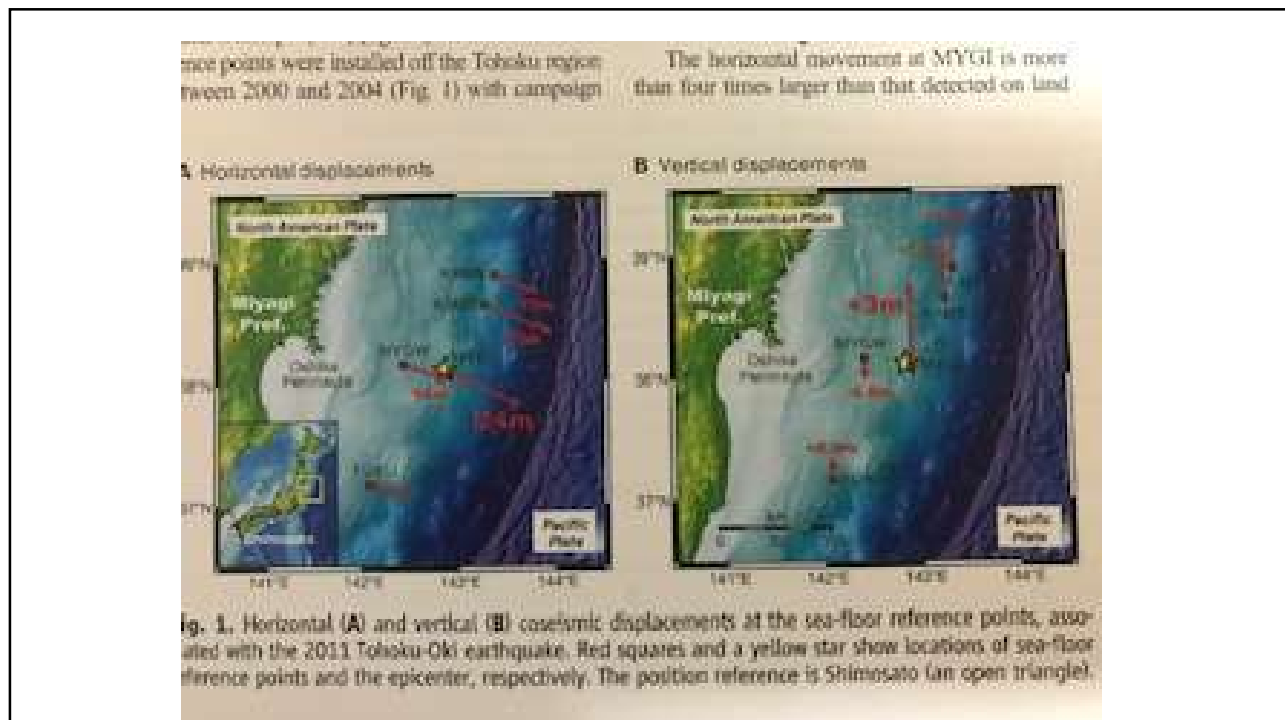
- 1 古典的なプレートテクトニクスに基づく解釈では、海溝地震は全てスラブ
- トップで起きた筈。ところが、1990年代以降、多くの識者はスラブトップ (ベニ
- オフ面は歪なしと考える) → **ならば、どこに歪が溜まるのか？**
- 2 **地震は全て大陸地殻の中で起きた (仮説 1)**
- 3 **地震は海洋プレート内部で起きた (仮説 2)**
- 4 **新説 (丸山茂徳/中村一明)** ; 3.11大地震は力学境界 (大陸地殻内部) で起きたが、始まりはスラブと上盤側プレートが短時間固着した為に、構造的上位の力学境界が壊れ、スラブと力学境界の間の三角形地帯がPop-upした。**Pop-upの上限断層は正断層で、この断層は大陸斜面で地表露出したであろう (海底GPSの記録)。**
- 5 **直後にスラブトップの固着域は完全に剥がれ、年間8cm/年の速度で再び沈み込み開始**

12

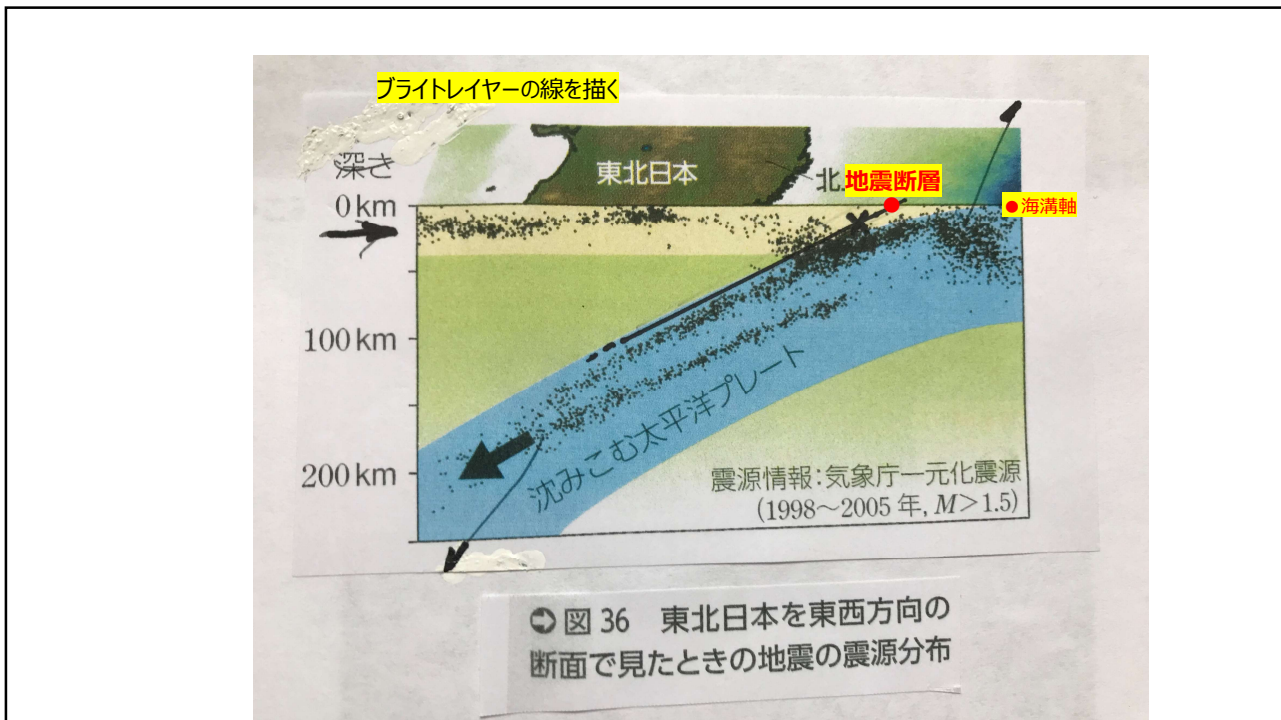
海底GPSで地震断層の位置 が分かった

- スラブトップではない

13



14



15

東西断面図で示すメカニズム

- 3.11地震断層はスラブトップで起きた断層ではない
- 証拠は海底GPSの上下方向運動変化
- 3.11大断層は構造浸食型の断層
- スラブの固着 (通常、スラブトップは自由滑りでなければならない=プレートテクトニクスの原理)

16

スラブの固着が何故起きたのか？

- これまでの常識（スラブトップは常に歪なし）が何故、非常事態になったのか？
 - さらに3.11大地震の後で、正常（スラブトップが歪なし）に戻ったのは何故か？
- ヒントはブライトレイヤーの形成と破壊にある

17

固着とは何か？

- スラブは上盤側プレートと固着してはならない！何故？プレート運動が停止するから
- 観測：GPSやVLBIによるプレート移動速度はほぼ一定→スラブトップは自由境界（歪が溜まらない→地震観測は正しいことを示す）

18



19

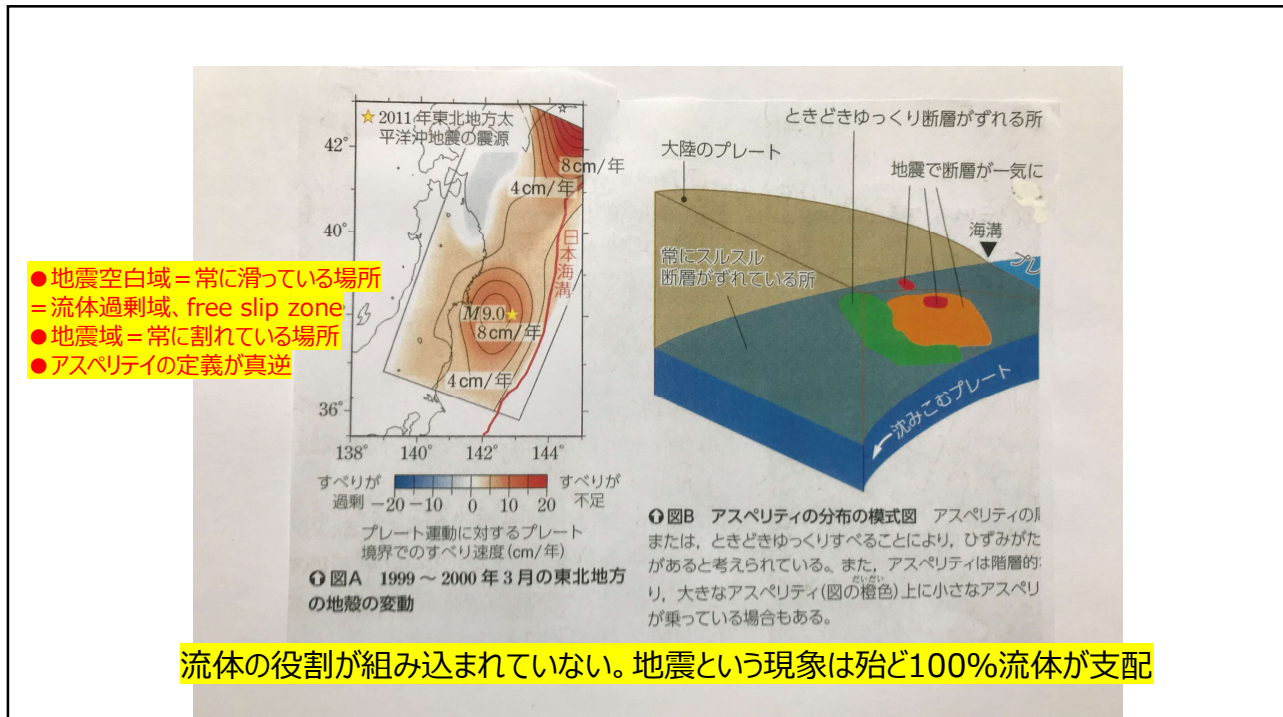
スラブと上盤側島弧プレートとの固着

- ● 通常、固着は起きない。8-10cm/年の速度はVLBIやGPSによる観測から実証されているからで、固着が起きるとGPSやVLBI観測によって直ちに観測にかかるからである。更に、①精密な震源観測データからスラブトップの地震は自然界に存在しないことが長谷川Gの研究から明らかになっている。すべての地震（35km以深）はスラブ内部に限定される。
- ● 固着が起きる可能性がある場所は35km以浅のスラブトップ地域である。図の解説。理由：大量の流体の上昇が起きていることと350℃等温線がスラブトップにほぼ一致するからである（東北日本）

20

2 スラブの固着プロセスと剥がれるプロセス

21



22



23

固着プロセスの原理の図 + 観測 (BL)

- 沈み込み帯の地温勾配の図
- 350℃は花崗岩のBrittle/Ductile境界
- 接着剤はセメント (ビル建築、一晩で砂が固化) あるいは石英 (岩体の割れ目を熱水が固着する)
- 地震学者によって、Bright Layer(BL層)として花崗岩地殻の上部/下部境界に存在することが分かっていた (1980年代)。これがプレートとアセノスフェアの境界で、地殻熱流量から推測して温度が350℃に対応するので、マグマではなく熱水で、弾性波探査で明瞭に見える理由は境界層が固体で直下に熱水が滞留している筈だと考えた
- スラブから大量の流体の供給が必要

24

スラブが何故固着するか？

- 1970年代のプレートテクトニクスが誕生した頃の一般常識は現在と逆だったことに注意；当時、沈み込み帯の地震は、100%スラブトップで起きると信じられていた。プレートは剛体なので、こすれて地震が起きる。沈み込み帯では二つのプレートが衝突し、一方の下に沈み込むので、境界面で剛体同士がこすれ合っ、破壊を伴う摩擦と地震が発生する。
- 東北大学長谷川の明Gは50km以深では、地震はスラブ内部で起きることを実証した。おそらくスラブトップは常にスラブ内部の脱水分解反応起源の熱水に覆われるので、自由滑りになる。
- ではその熱水はどこから来るのか？それが、太平洋プレートが沈み込み準備の為に、屈曲を余儀なくされるために海溝外壁が正断層によって割れる。M=7程度の地震でスラブの底（60km）まで断層が到達するから

25

ブライトレイヤーとは

- もとは大陸地殻（35km）の上部と下部の中間深度に地震波が強く反射される境界層が観測されたことから、この層の直下にマグマがあると予測された。地殻熱流量の数値から、マグマ（ $> 800^{\circ}\text{C}$ ）ではなく、熱水貯留層で温度は 350°C 程度だと見積もられた。
- この温度は、また花崗岩が脆性/延性変化する境界温度に対応することから大陸プレートでは、上部がプレート（極めて薄く破壊が集中する）で下部がアセノスフェア（片麻岩にみられる流動構造）に対応する。
- 東北日本直下のブライトレイヤーの深度は火山フロントで浅く（10km）、西方或いは東方に向かって深くなる。海岸線直下では約35kmになる為に、その深度から日本海溝までは硬い大陸地殻（地震断層が起きる）になる。
- 従って、M=9.0の震源の推定値（約20km深度）は大陸地殻中深度に相当し、スラブトップではなく、更にその下位の海洋地殻や橄欖岩内部ではない。これまでの海底地質データから判断すると、白亜紀の花崗岩や片麻岩を主体とする大陸地殻内部で起きた地震であろう。350℃等温線は、この力学境界よりも深く、スラブトップ付近であると見なされる。

26

350℃等温線は何処にあるか？

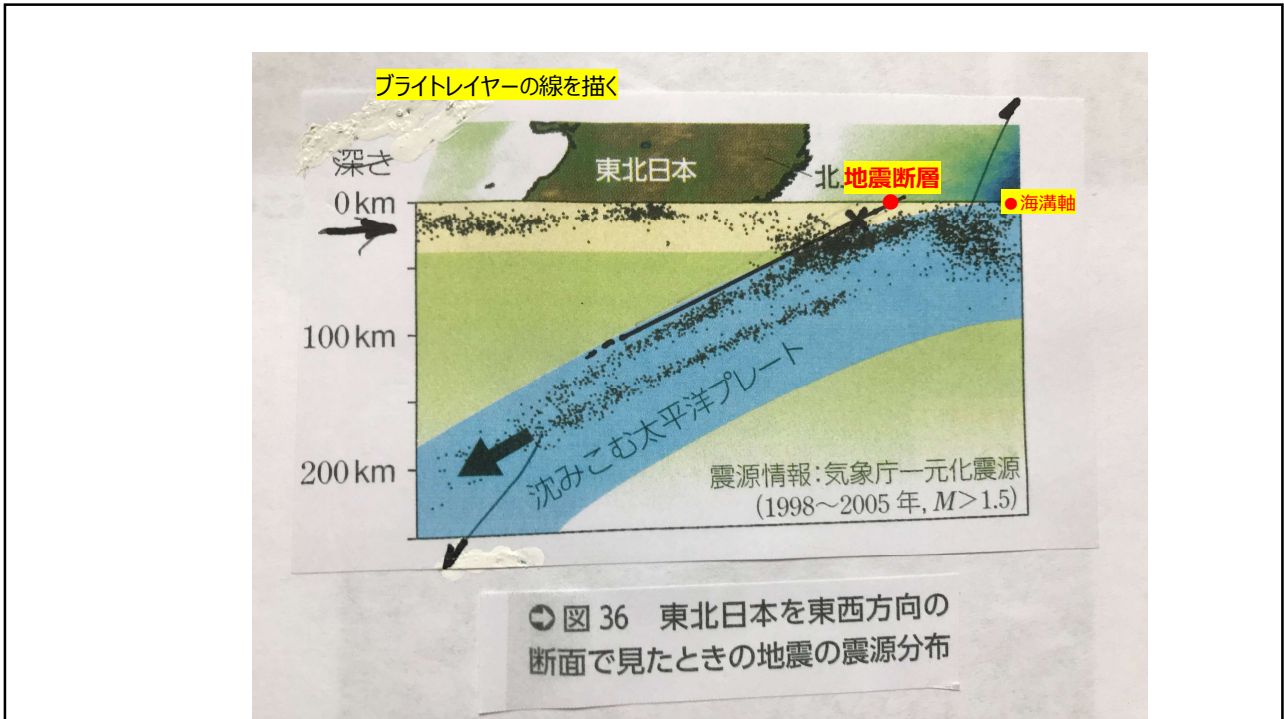
- 仙台沖直下のスラブトップの位置は、35km深度付近にある（図X）。スラブトップの直上は大陸地殻の下底なので、そこで地震が起きることは、350℃よりも低い温度（スラブトップの遠洋性花崗岩質堆積物）を示唆している。スラブ直上には付加体があり、低温高压型広域変成作用が起きていると思われる。沈み込み帯深部の数値計算（Peacock and Wang,）によると、350℃等温線はベニオフ面（スラブトップ）に平行になるはずで、スラブトップ近傍にブライトレイヤーがあるはずである。
- 直下のスラブからは大量の脱水流体が供給されるので、その流体が350℃以下に冷却されると、大量のシリカが析出して、スラブが大陸地殻（付加体）と固着する。
- 固着とは砂（例えば砂場の砂はさらさらで石でない）が岩石（不透水層）になるには、砂粒の間の空間にサブミクロンサイズの石英粒子が充填すると岩石になり粒子が固着して不透水になる。スラブの脱水反応によって熱水がスラブから上昇すると350℃を切ると熱水から石英が晶出して岩石の割れ目や断層が自話まりして不透水層ができる。海洋スラブが沈み込むと等温度線がベニオフ面と平行になることが知られている。すると、スラブトップ付近の広範囲の地域で、スラブが上部の島弧プレートと固着することが起きる。
- スラブの固着が非常に短時間（数分以内）しか続かない理由は、脱水分解反応でスラブの深部からもたらされる熱水流体がスラブ直上に発達する固着層の直下に熱水貯水槽が生まれ、その領域が急激に広がる。このブライトレイヤー直下の流体層がすべり面となって、スラブの固着が剥がされて、スラブがマントル深部に向かって自由落下を開始する。

27

最終回答

- 1 静穏期（3.11.2011以前の1年）
- 2 太平洋スラブの固着開始と広がり
- 3 太平洋スラブとNE日本島弧地殻が固着して沈み込み開始（数分）
- 4 古傷の構造浸食断層（蛇紋岩を伴う力学境界面：中村断層と呼ぶ、スラブトップの上方の活断層）が破壊を起こし始め、約3分で厚さ10mの薄い断層面が150km X 450kmまで拡大した。
- 5 一方、スラブの固着面の直下に熱水滞留層が四方に拡大して、直下の太平洋スラブのトップが完全に歪なし（free-slip）の状態となり、通常の沈み込み状態に戻った
- 5 新たな歪蓄積領域が、南方へ移動して、房総半島－関東平野領域に地震活動が活発になり始めた

28



29



30

短期間に固着し固着面が拡大する→しかし直ぐに剥離する；さもなくばプレート沈み込みが長期にわたって停止する

- GPS観測データは固着が短時間<数時間(?)にスラブトップで起きたことを示す
- M=9.0の地震断層の始まりから、5分以内に、南北500km、東西幅150km、厚さ(10m)の断層面が拡大した：これは破壊断層がスラブトップでなかったことを示す(中村断層=力学境界 by 海底GPS)
- 約5分後にスラブの沈み込みが復活した筈

31

これまでの作業仮説による説明

- スラブトップが時々固着して剥がれる→新しい断層は海溝にできない
- 反証：すると、海溝でできる①付加プリズム、②構造浸食(古い付加体や大陸地殻の破壊とマントル深部への輸送)、③海洋地殻(オフィオライト)の付加が起きないことになる→明らかに観察・観測事実と異なる

32

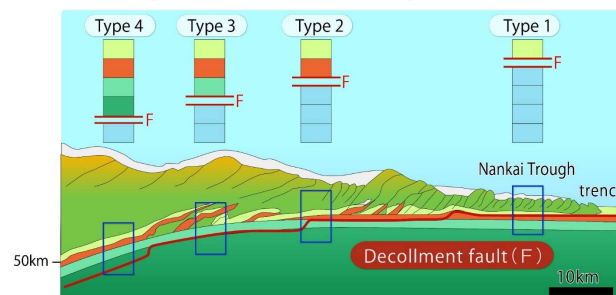
海溝地質学からの貢献

+ 陸上地質学、熱力学、岩石学（火成岩、変成岩）、構造地質学、堆積学、同位体化学、レオロジー（岩石の破壊流動運動学）など

33

デコルマン断層：海洋プレート物質（遠洋性堆積物も含む）が層理面に平行な逆断層によって、上盤側の大陸プレートに付加されるプロセス；深度が深いほど海洋地殻深部までデコルマン断層が入り込む；スラブ内部地震断層

Types of accretionary complex



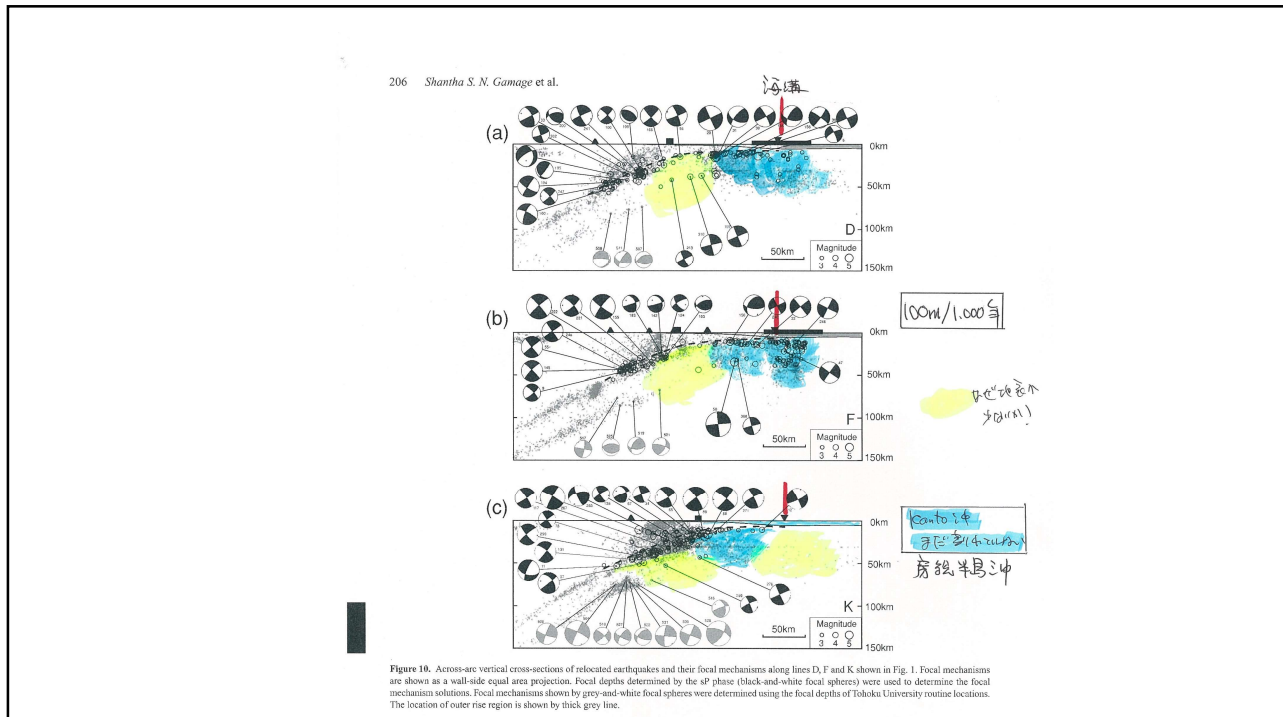
Accretionary complex	Rock component	Example	Intensity of deformation
Type 1	Sandstone + Mudstone	Nankai Trough	weak
Type 2	Chert + Sandstone + Mudstone	Inuyama region	strong
Type 3	Upper oceanic crust + Chert + Sandstone + Mudstone	Suzaki region	strong
Type 4	Mantle + Lower oceanic crust + Upper oceanic crust + Chert + Sandstone+ Mudstone	Sambagawa	extremely strong several times

34

スラブ固着に必要な大量の脱水流体の起源

- 太平洋スラブの加水とひき続く脱水（BI層の形成）は何処で起きる？ 答：海溝外壁正断層（スラブが曲がると正断層形成）
- 橄欖岩 + 水の状態図から全て解ける → 海底地震計のデータを照合する

35



36

海溝陸側斜面直下の構造浸食型地震

- 東北日本ではそうだが、普遍的か？答；地球の海溝総延長4万kmの90%以上の地域で構造浸食が起きている（von Huene & Scholl, 1990）

37

断面図で二つの断層の違いを解説

- スラブトップのベニオフスラストと中村スラストは別物だと考えなくてはならない（海底地震計ネットワーク150億円計画完了、すでに最初の論文が印刷中、海底GPS（+）を設置すれば詳細が分かる；今後の観測体制；東北大学Gと議論済み）
- 今回は、海底GPSの観測でおおよその位置が判明（図）
- もう一つの論文（ある特殊な反射波を使うと3.11地震の5分間の巨大断層の伝播過程が復元可能；計画中（Zhao et al., in prep.）

38

地震の予測は可能になる

- まず、1,300点のGPSデータから地表と海底（GPSの設置場所を増やす）のデータの計時観測から歪の蓄積異常地帯を求める（既にその地域群は明白）。
- 海域には、海底地震計を必要な場所にバラまき、震源の深度方向の精度を格段に上げる(150億円計画終了)
- ブライトレイヤーの発達レベルを海底地震計で調べる。カギになる場所は、**力学境界とスラブトップの二か所（一部にスラブ内部）**である。
- 流体移動のトモグラフィー像TV

39

3.11大地震の余震は現在も続く

- 余震は新たな歪の蓄積場所を示唆する
- 何故なら3.11によって仙台直下の歪がゼロになり、その周辺（北海道或いは茨城ー房総直下）の太平洋スラブの上面或いはスラブ内部に次の歪が増加中
- 3.11から10年経過している。その間の地震頻度分布をみよう**

40

20110301東北大地震の本震直後の地震 (M> 1) の震源の拡大と断層面のすべり量の変化

- 0-1分後：震源 (M=9.0、地下20km) から
半径100kmの範囲に断層面が拡大
- 1-2分後：断層面は北北東に拡大し、断層面は
- 2-3分後：海溝軸の西側斜面に露出したであろう
- 3-4分後：破壊は北東側でほぼ終息した
- 4-5分後：最後に断層面は関東平野に拡大し
余震は関東平野に歪を蓄積しつつある

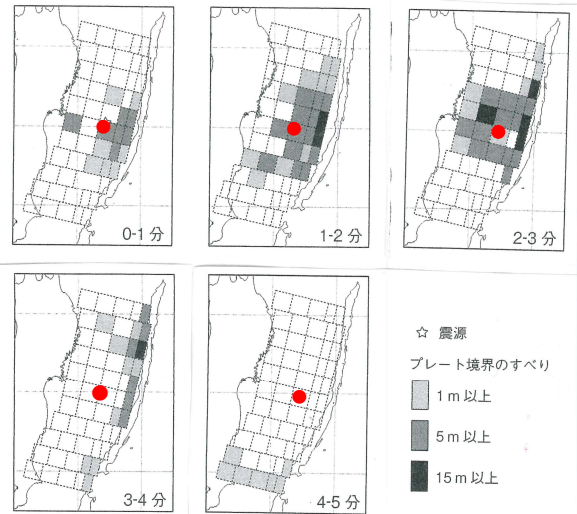


図0-2 東北地方太平洋沖地震の、断層面に沿ったすべりの時間変化。Satake et al. (2013, BSSA) の解析をもとに図化した。断層がすれ始めてから1分ごとのすべりの量をおおまかに示した。

41

茨城—千葉—房総へと歪が蓄積しつつある

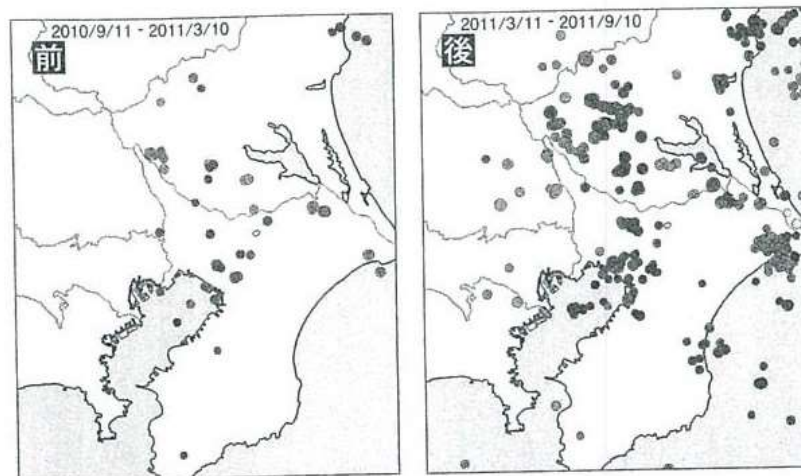


図3-5 2011年3月11日を境にした首都圏における地震活動の変化。丸印は震央

42

近未来に茨城－千葉（房総半島－関東平野）で何が起きるか？

- 3.11東北大地震の余震は、3.11大地震直後に拡大した地震断層面の拡大が約5分間ではほぼ終息したあと、北方の青森－北海道には余震が見られず、南方の茨城南方へと広がりつつある。このことは3.11.2011年から3か月後までの観測に明瞭に表れている。これは太平洋スラブ直上で起きている歪の蓄積が、北海道側の太平洋スラブ直上ではなく、関東平野側で歪の蓄積が顕著に進んでいることを示している。
- これは陸上GPSのデータにも表れている筈で（水森論文参照）、関東平野、特に房総半島地域、と東側の大陸棚から日本海溝にかけての海底地質調査が喫緊の課題となる。
- 以下に観測体制：観測ネットワークのデータから近未来予測が可能になる→地震予知、津波予知→防災体制の徹底

43

海溝海側外壁の正断層崩壊がまじかに迫っている

- 東北日本では海溝外壁でプレートが正断層破壊（スラブが含水以下）
- 西南日本ではスラブが若く、海溝外壁正断層地震なし

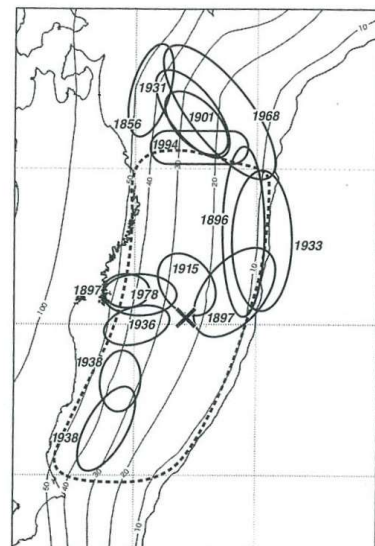


図2-2 日本海溝沿いの巨大地震の震源域、日本の地震活動(地震調査研究推進本部)から日本海溝沿いのM7.4以上の地震の震源域を示した。波線は2011年東北地方太平洋沖地震の震源域で×印は震源(破壊開始点)を示す。

44

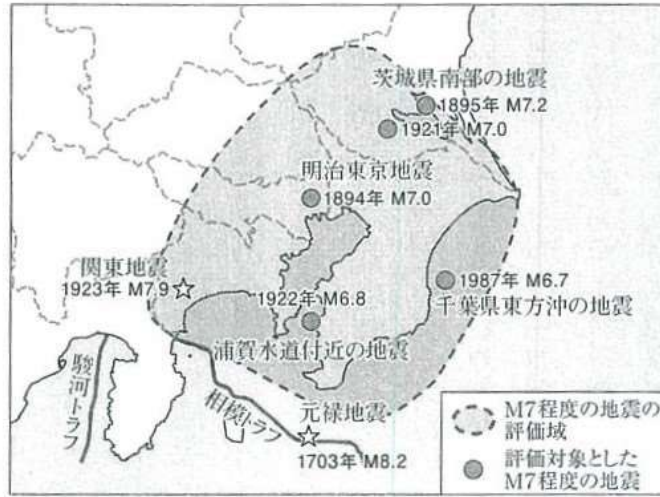
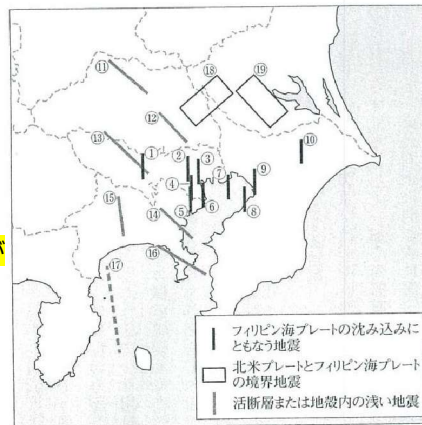


図 4-5 明治以降南関東で起きた M7 クラスの大地震

45

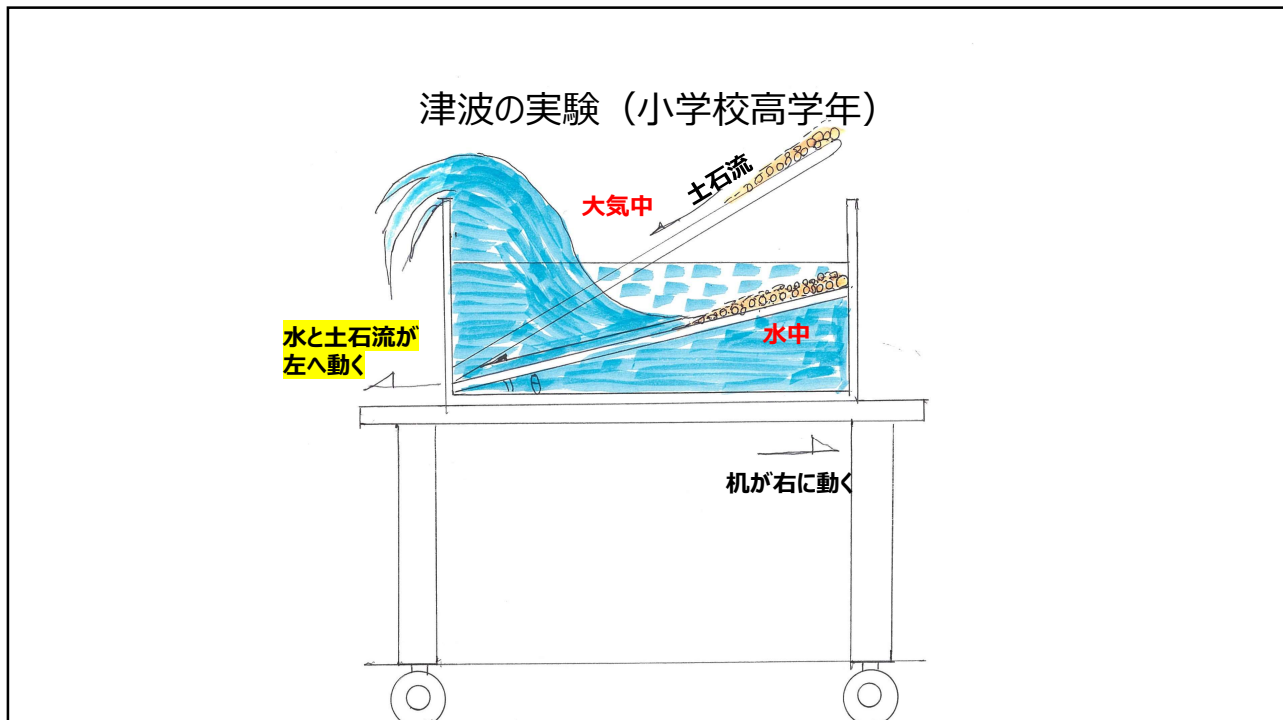
これまで誰も考慮しなかった問題は太平洋スラブから脱水した熱水流体がPHSスラブにトラップされて薄い大陸地殻下部にシールドされていること、関東平野島弧地殻下部のアセノスフェアにどのような形態で安定化/不安定化しているかの探査が必要→**BL層の観測が必須の課題**；3次元モニタリングが喫緊の課題



- ① 立川市直下 (M7.3)
- ② 都心西部直下 (M7.3)
- ③ 都心東部直下 (M7.3)
- ④ 都心南部直下 (M7.3)
- ⑤ 川崎市直下 (M7.3)
- ⑥ 羽田空港直下 (M7.3)
- ⑦ 東京湾直下 (M7.3)
- ⑧ 市原市直下 (M7.3)
- ⑨ 千葉市直下 (M7.3)
- ⑩ 成田空港直下 (M7.3)
- ⑪ 関東平野北西縁断層帯 (M6.9)
- ⑫ さいたま市直下 (M6.8)
- ⑬ 立川断層帯 (M7.1)
- ⑭ 横浜市直下 (M6.8)
- ⑮ 伊勢原断層帯 (M6.8)
- ⑯ 三浦半島断層群主部 (M7.0)
- ⑰ 西相模湾 (M7.3)
- ⑱ 茨城・埼玉県境 (M7.3)
- ⑲ 茨城県南部 (M7.3)

図 2-5 内閣府の被害想定(2013年)による首都直下地震の断層位置。内閣府中央防災会議資料より

46



47

海底地震計、海底GPS, 房総
半島東側斜面/西側斜面の傾
斜計設置、日本海溝までの斜面
堆積物の重力不安定測位

48

● 地域を絞り込めたので次は地殻流体の移動を監視する→流体移動の方向が次の地震位置を決める筈

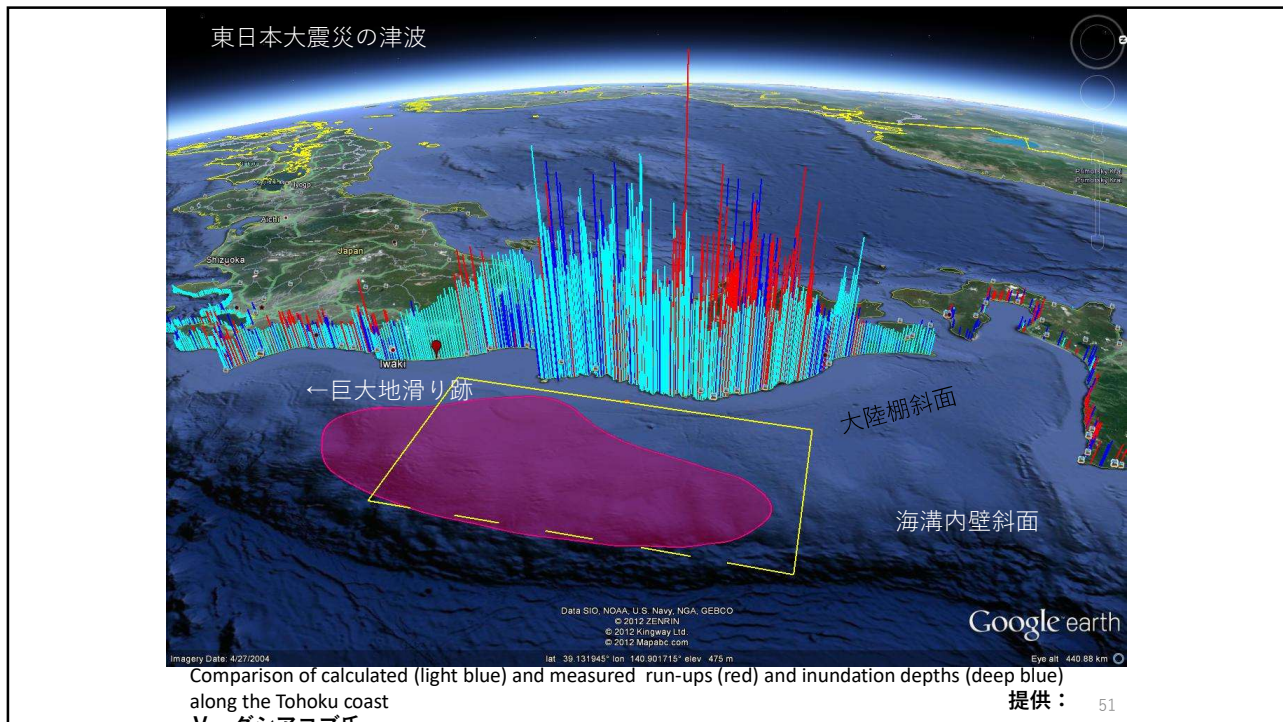
- 地殻流体移動をモニターできる地震計ネットワークの構築
- 海底地震計の活用
- 海底GPSの活用

49

津波予知

- 茨城ー房総沖の海底地形と重力不安定堆積物の認定 (図X) と過去の津波災害の古記録の照合 (海底扇状地トップの掘削、数m深度まででOK、その年壩を数えて、古記録と照合する)
- 茨城ー房総沖の海溝陸側斜面は、東北日本沖 (ツルツル) とは全く異なった様相を示す。すなわち、数段に分かれた小海盆があり、重力不安定堆積体の存在が顕著
- もう一つは、房総半島自体が、100%全部日本海溝へと崩落する規模の巨大地滑り (オリストストローム型) さえ起きうることを念頭に置かねばならない (過去、ハワイ諸島の一つの島の1/2が崩壊した巨大地滑りや、インドネシア沖では、四国の面積サイズの大規模扇状地が観測されている)
- 或いは、数百万年前の東京湾方向への大規模地すべりが起きる可能性がある (鋸山重力不安定) → 首都東京壊滅 (地上/地下)

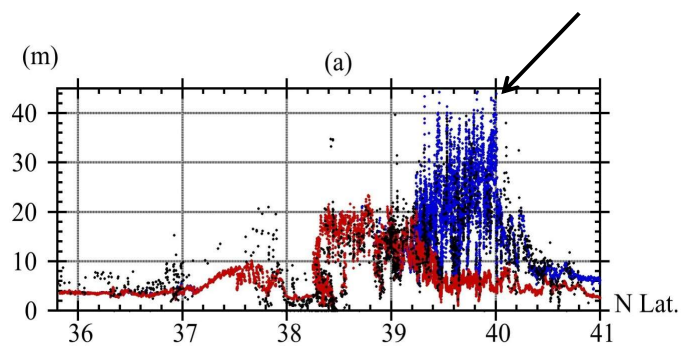
50



51

3. 11での海底地滑りのインパクト

地滑りがあったために、津波の高さは3倍増幅！（青色部分）



52

52



53

房総半島から太平洋側の地すべりか、 或いは東京湾側への巨大地滑りか？

- 過去の大規模海底地すべりが東京湾側に向かった事例（巨大オリストストローム；筑波大学小川勇次郎G、例：Yamamoto PhD）
- 厚い半固結砂岩層（房総半島）は明治以降の首都の高層建築の材料として採掘されてきた。鋸山が典型的な山塊で、重力不安定な採掘が生み出した人工的な形態を示す。これが大地震によって水平方向に揺さぶられると、北方（東京湾）に向かう巨大山津波を起こし、山津波が東京湾口になだれこむと巨大津波が東京駅に向かって3.11 大津波に匹敵する津波大災害が発生して首都機能が失われるだろう。
- これを阻止する防災技術が必要になる
- これは、南海トラフ地震に集中している現行の政府予算を再考しなければならない

54

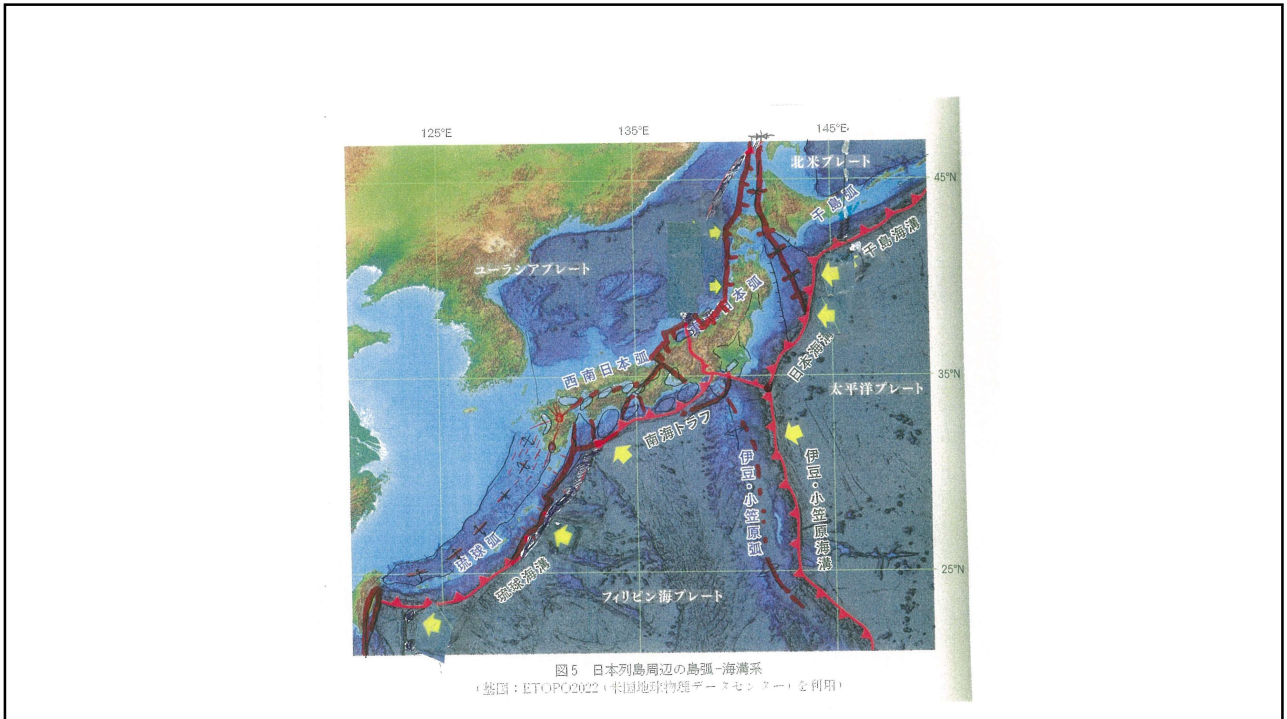
付録

55

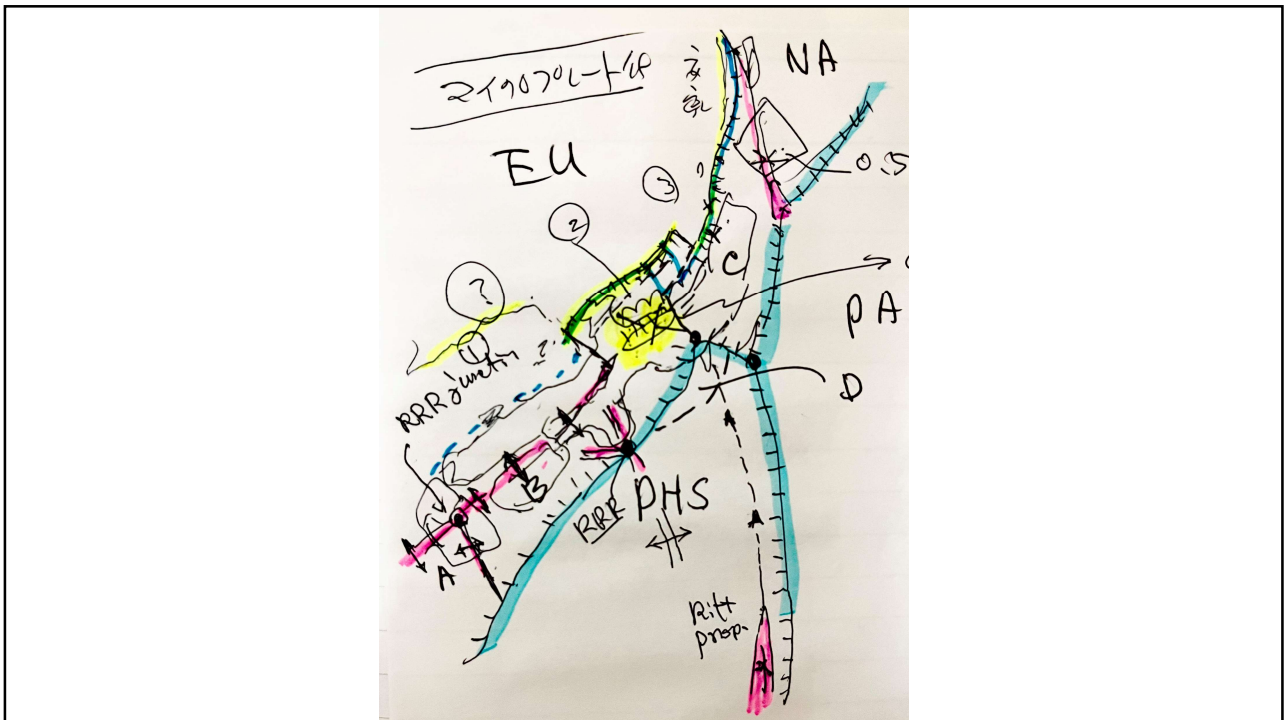
4 大地震の予知の手法が見えてきた

- 予知の手法概観
- 予測の為の原理の確立
- 具体的な危険地域の評価の原理
- 危険地域の精密観測手法

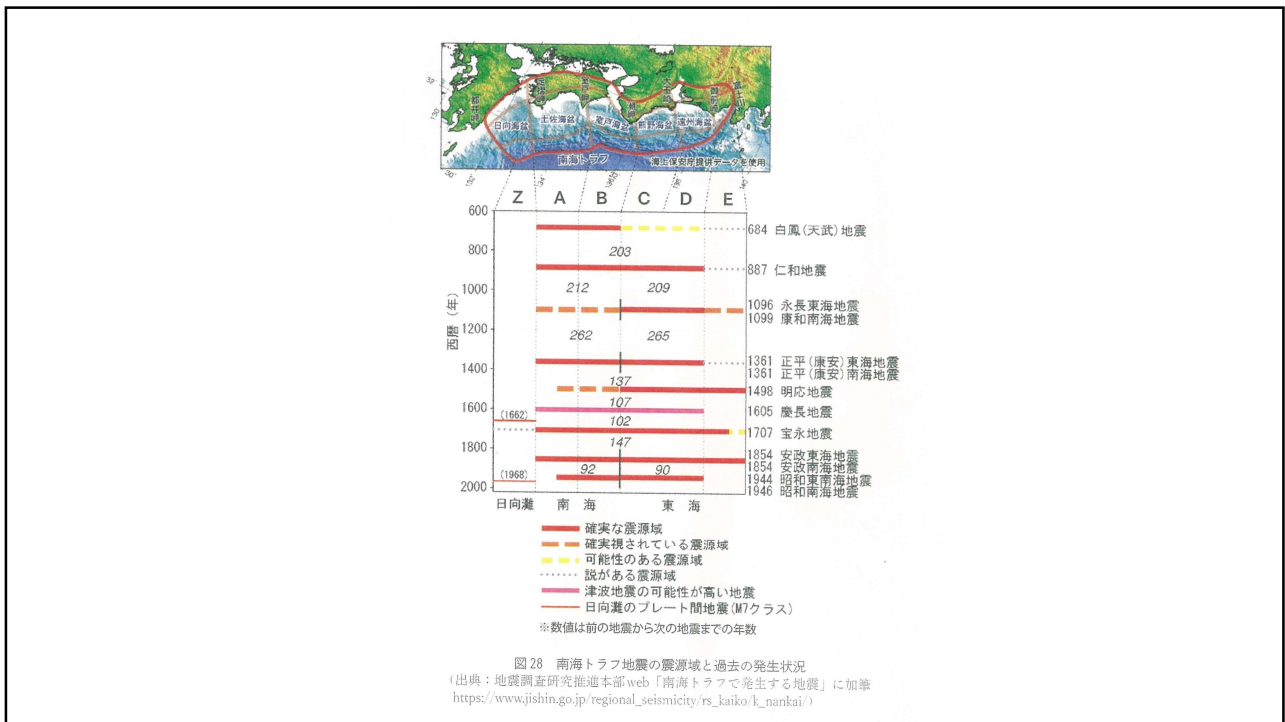
56



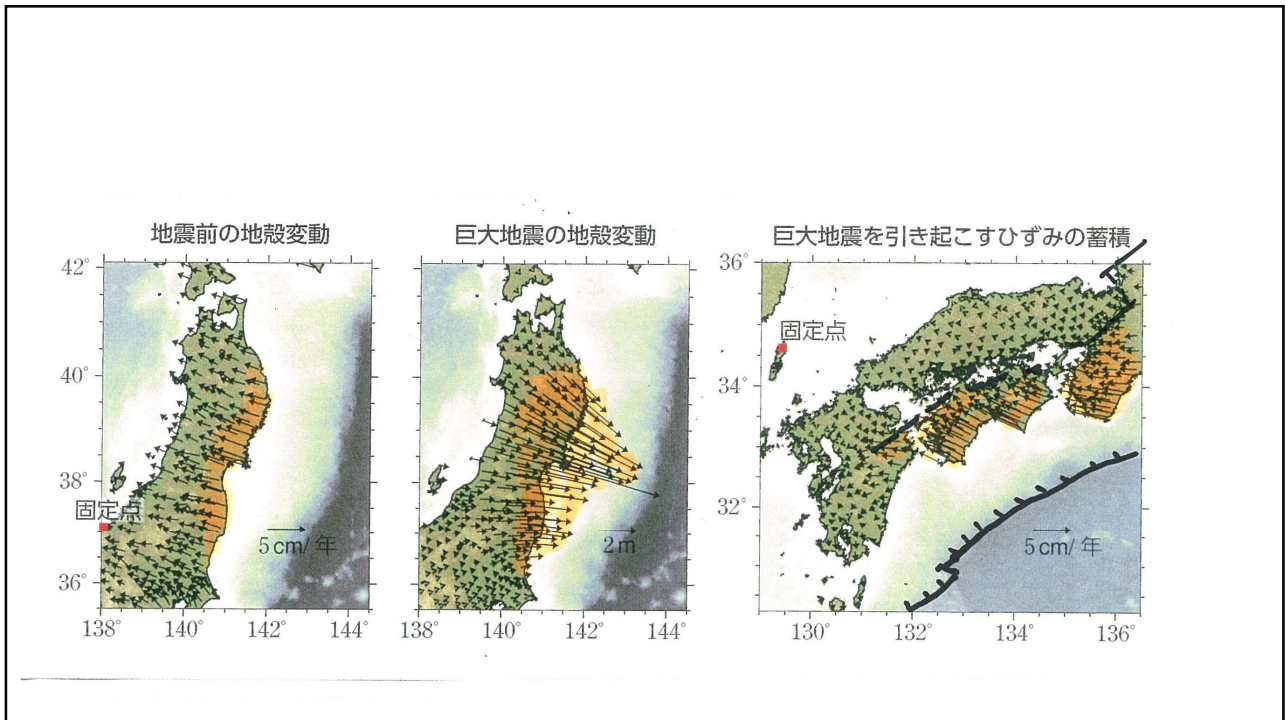
57



58



59



60

3 日本列島周辺の海溝型地震

- 1 日本海南東部
- 2 PHSプレート
- 3 太平洋プレート

61

気象庁web『地震発生の仕組み』
https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/jishin/about_eq.html

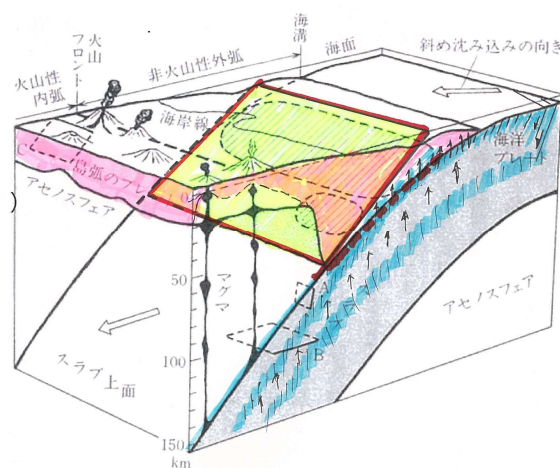


図3-6 島弧-海溝系の模式図。水平方向は縮めて描いてある。斜線の領域は、プレート境界の巨大地震(上側)と大・中地震(下側)の震源断層面。AとBはスラブ内地震、Cは上盤プレート内地震の震源断層面。白い矢印は海洋プレートの運動を示す。

62

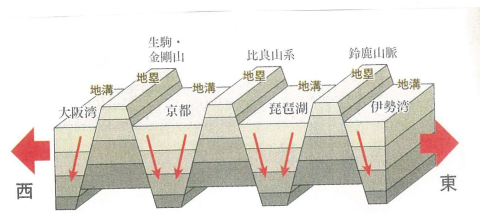


図13 近畿の地壘・地溝構造のイメージ（約1500万年前以降）

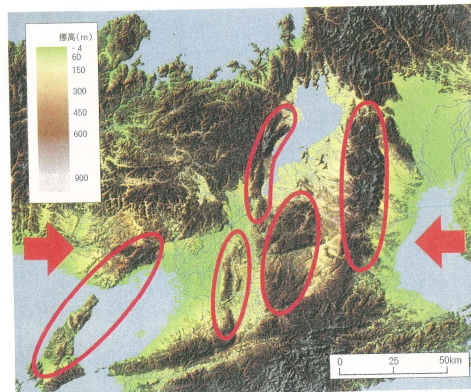
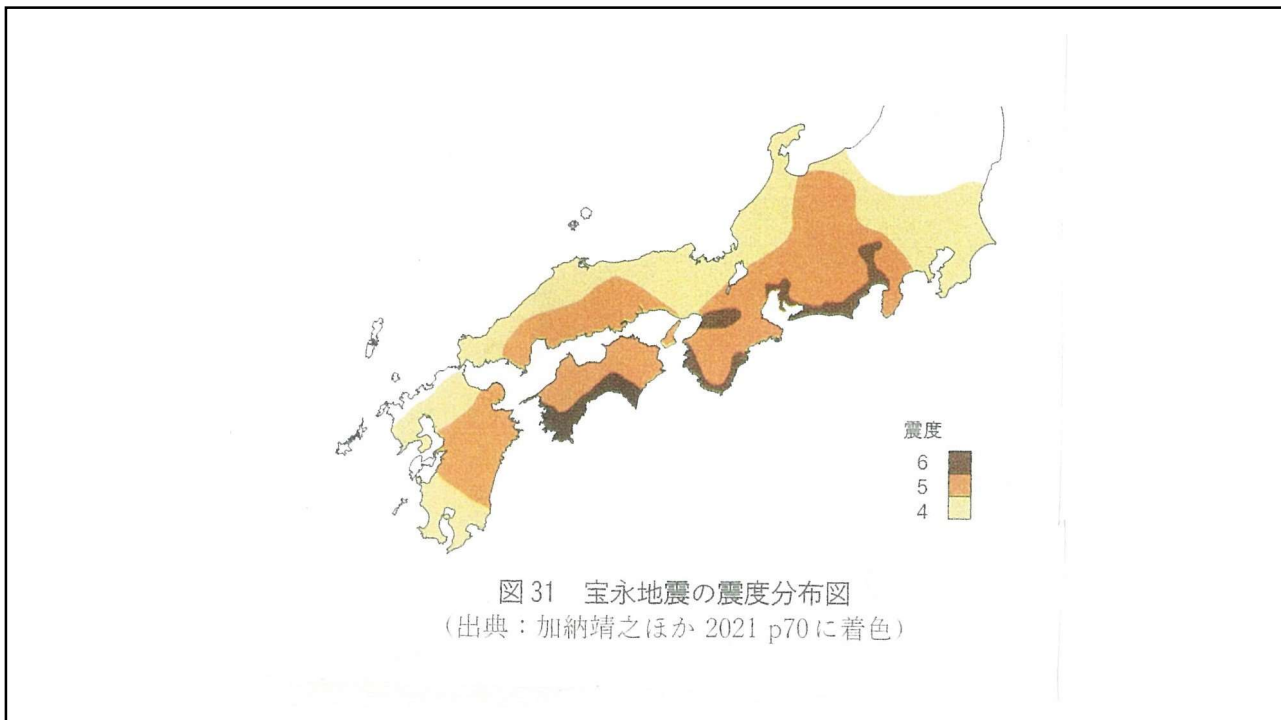


図14 東西圧縮と断層運動による近畿の隆起と陥没構造のイメージ（約300万年前以降）

63

阪神—淡路大震災

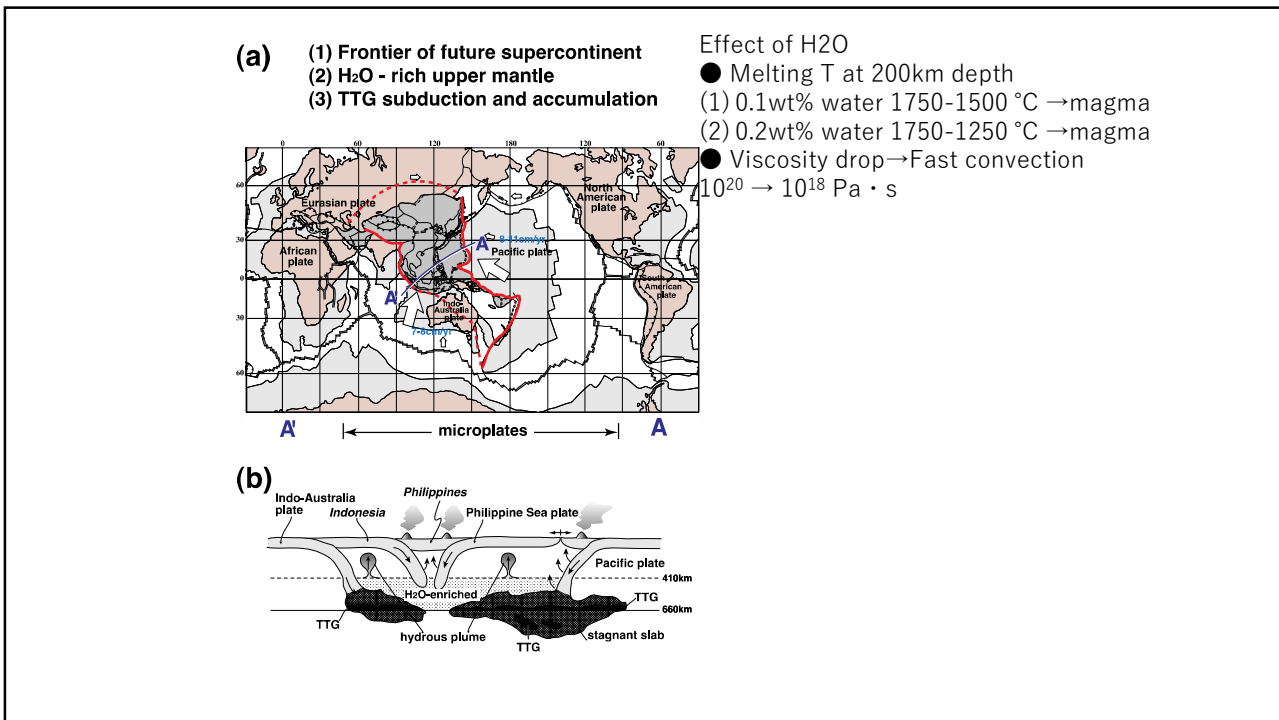
64



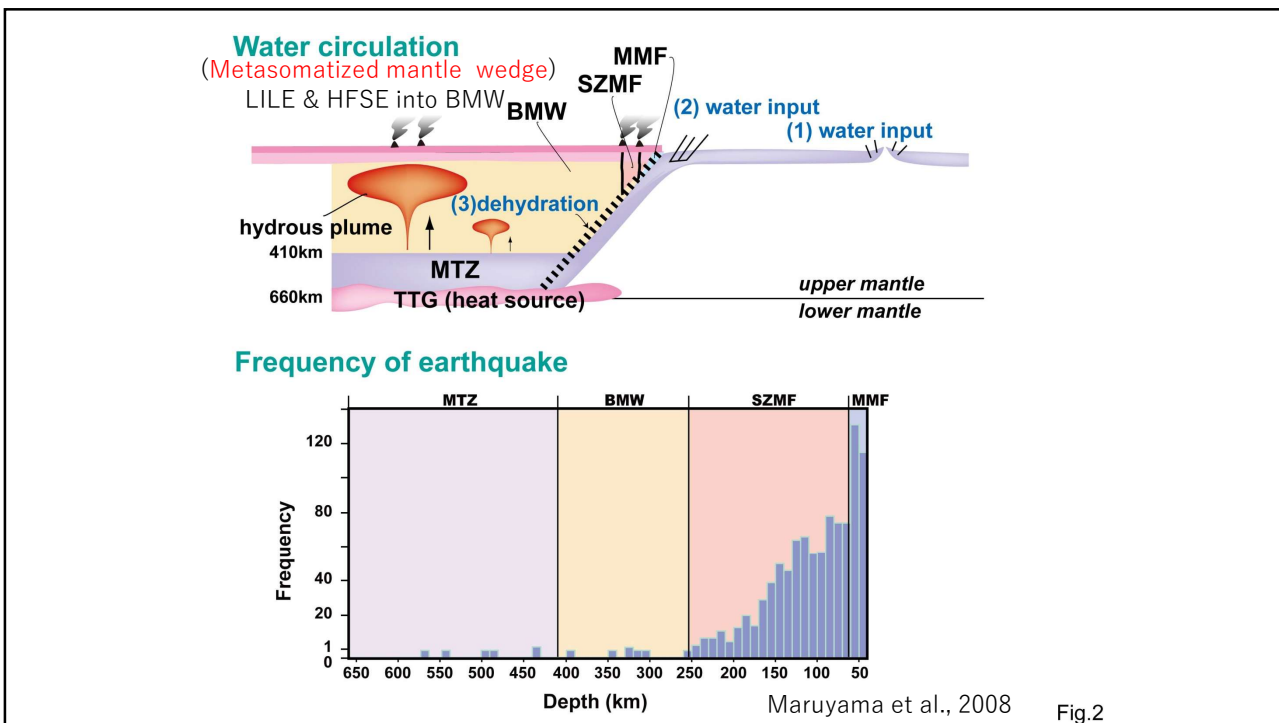
65

アジア断面図 (+ 日本列島) 小宮

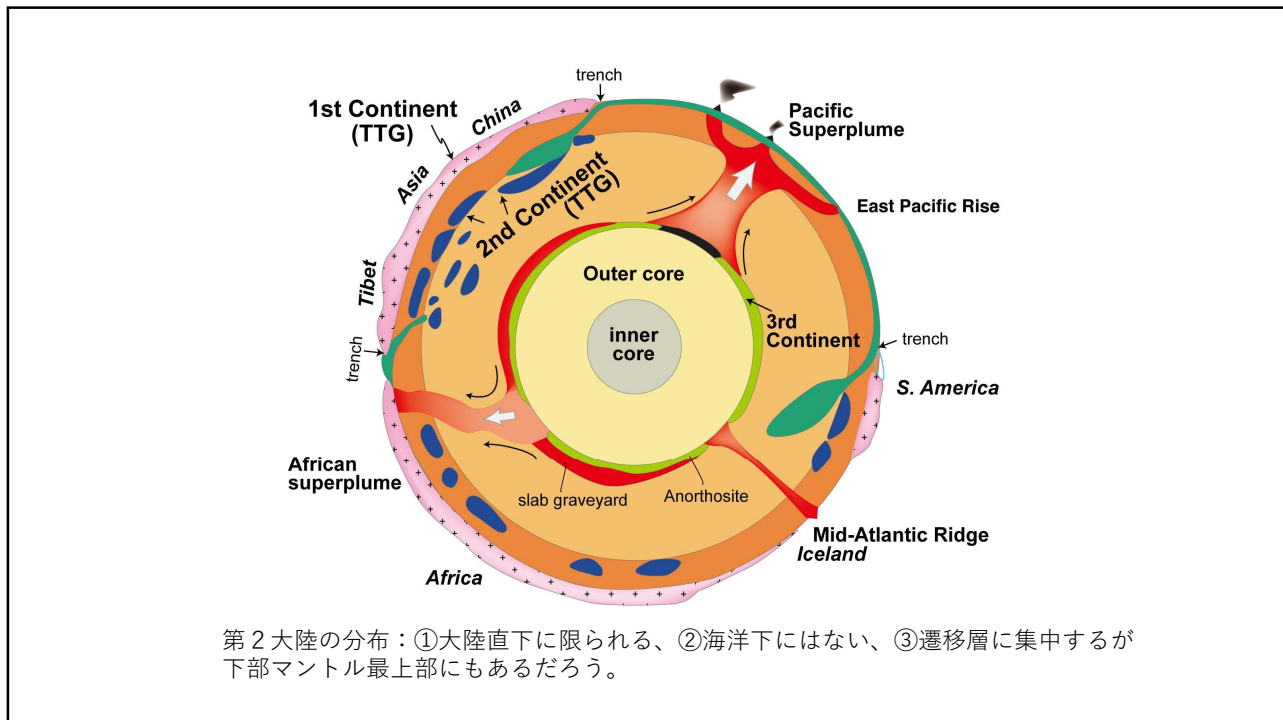
66



67



68

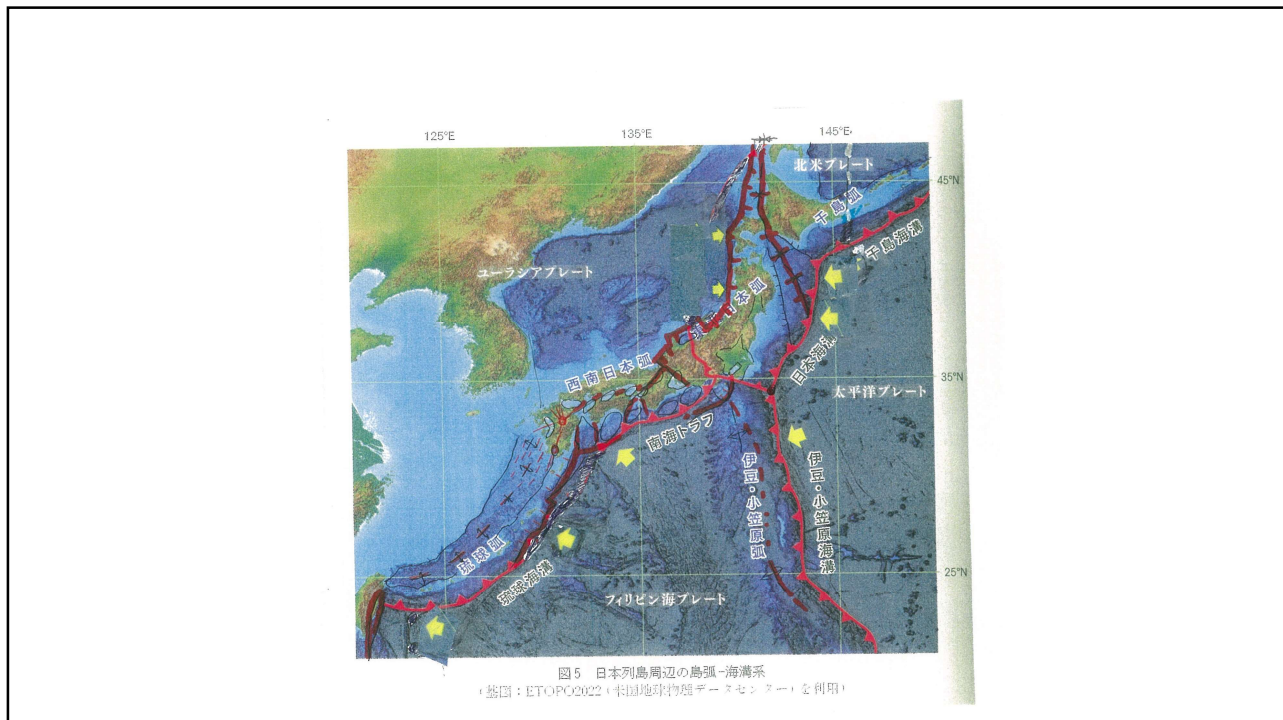


69

日本列島周辺に沈み込むプレート

- 正確に琉球列島や硫黄島までを入れた図に改訂

70



71

議論

- 1 植民地科学
- 2 地震学の体系化：金森地震学（最初の金字塔→反証）
- 3 新しい地震学の体系化
- 4 ホイッグ史観

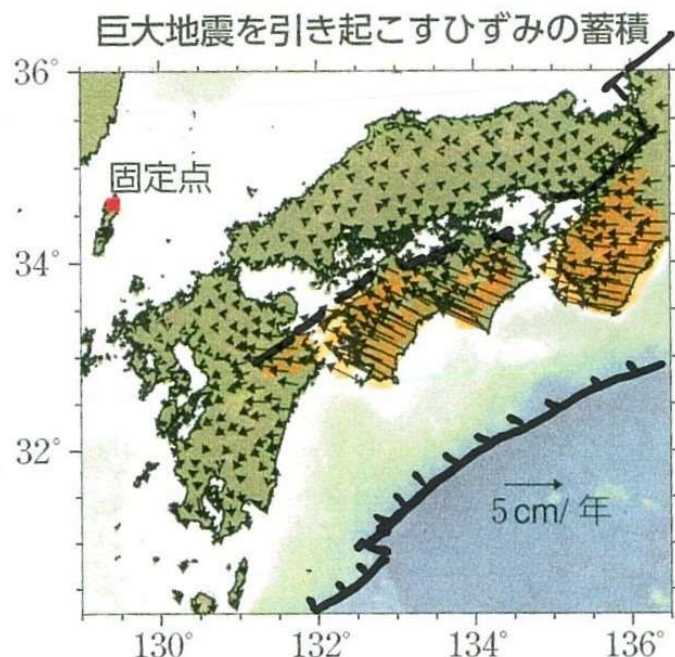
72

島弧プレートが何故弾性体様の振る舞いをするのか？

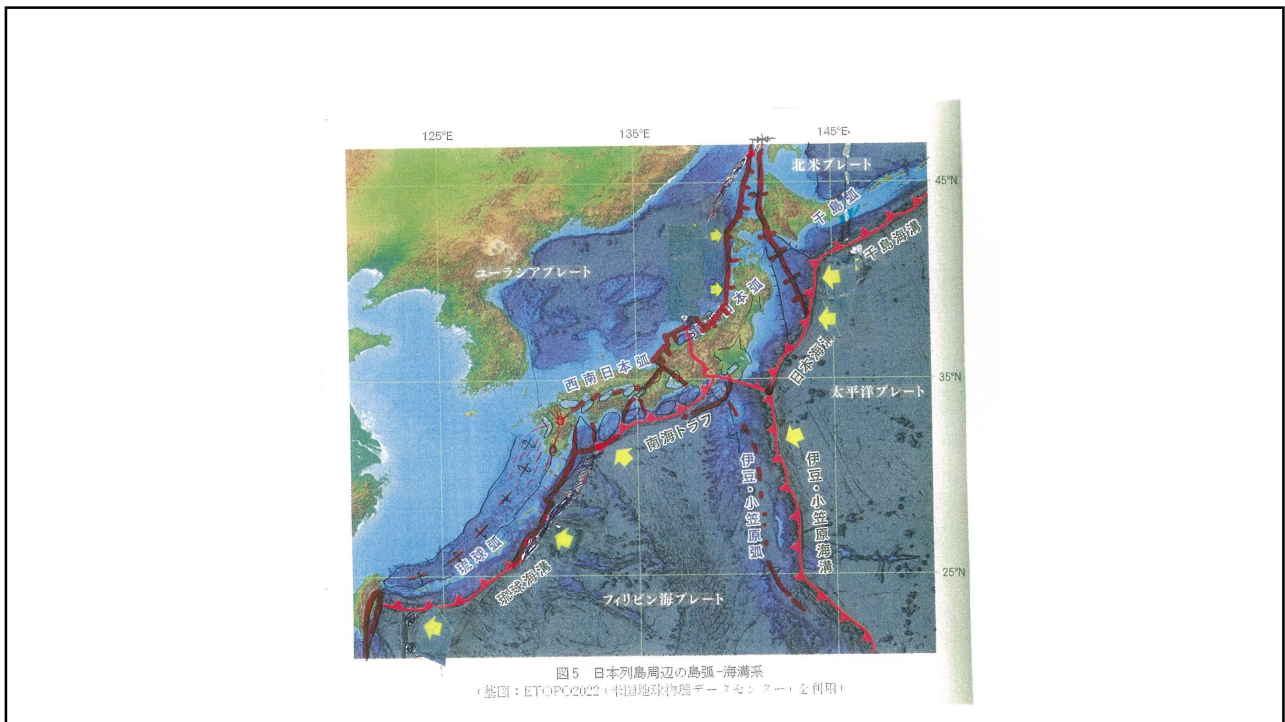
- もし弾性体ならば、断層は起きない筈→しかし何故伸び縮みするように振舞うのか？答：①地質・②岩石・③鉱物科学の問題で、結晶内部の格子欠陥から鉱物粒界、粘土鉱物、断層破碎帯、割れ目と熱水循環、シート状ケイ酸塩の力学物性、褶曲、破壊、熱水循環と再結晶、岩体の地質構造変形と流体の役割の理解が必要である。この問題への回答はシンプルである。プレートは剛体でなければ地震が起きない。しかし、断層破碎帯や岩体内部には無数の割れ目があり、特に粘土鉱物は応力と水を吸収する媒体、或いは緩衝材なのである。例：MTLとGPSによる運動ベクトルの関係を見よ！
- 東北日本沖の地質大構造（日本海溝外壁まで、特に大構造線の分布までは最低限必要な知識）

73

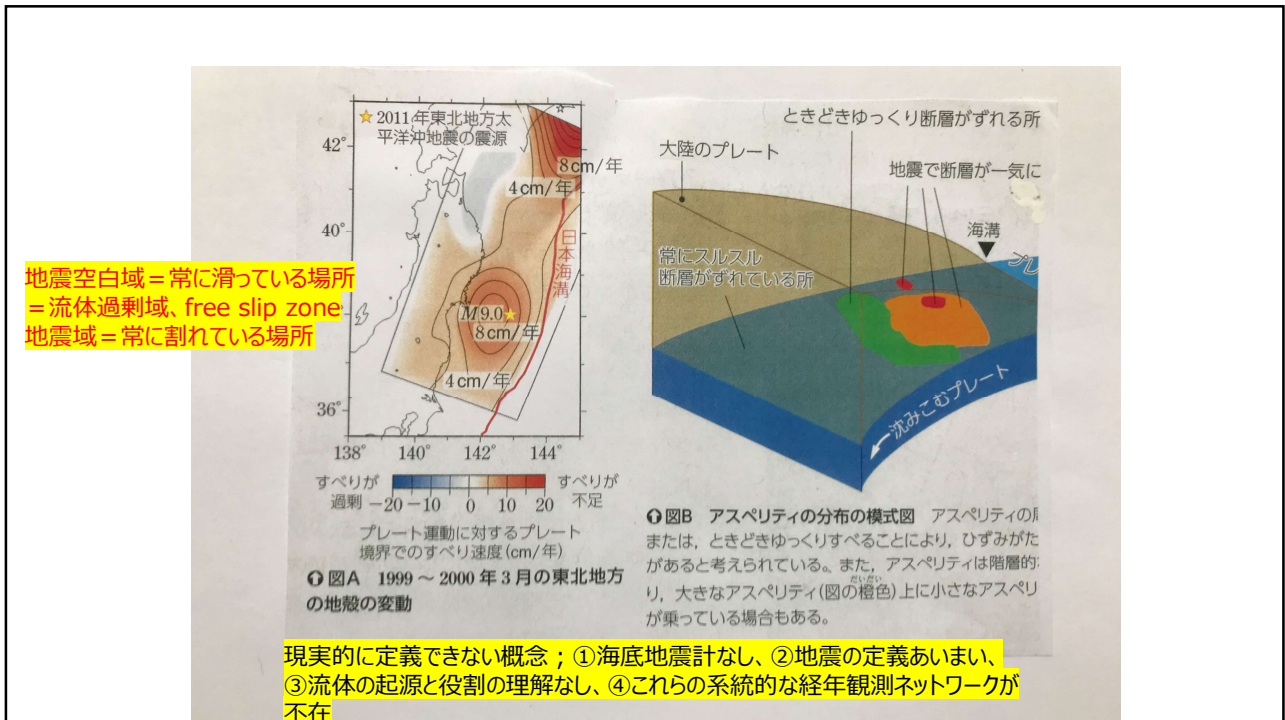
紀伊半島と四国の移動ベクトルは中央構造線を境に吸収されている何故か？MTLは20mを超える幅の垂直断層破碎帯があり、内部の断層粘土がスポンジのような歪吸収緩衝材となっている証拠



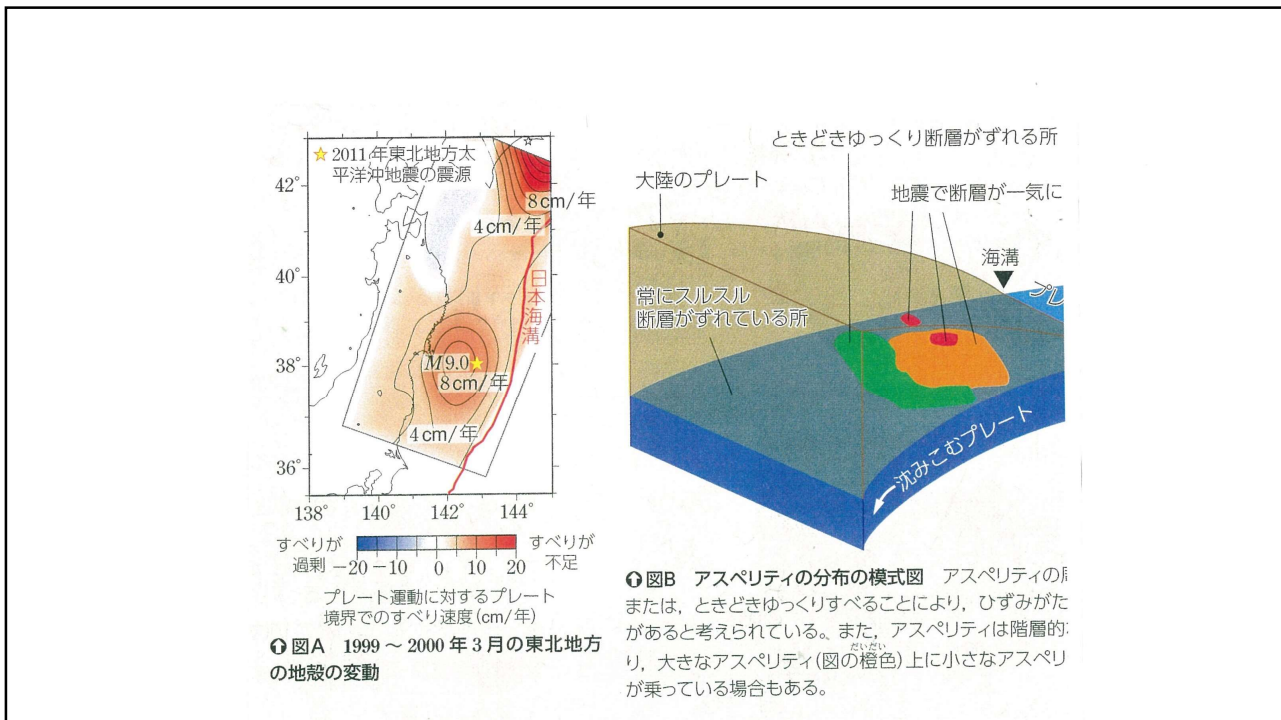
74



75



76



77

まとめ：地震とは何か

- プレート運動による歪の蓄積と流体（水）の拡散による歪の開放
- 中央海嶺直下（+火山直下）、トランスフォーム断層、海溝地震（剛体プレートの破壊）
- 浅い地震；ほとんどが大陸地殻（<35km）内部で起きる
- 深い地震（35–680km、800–1,600℃）；深く沈み込んだスラブの中でだけ起きる（脱水脆性破壊化現象）
- 剛体から粘性流体への移行は不連続の現象ではない（化学組成と温度圧力に依存；地殻は更に複雑＝断層、割れ目、粘土、自由流体など）

78

地震学は日本に来た英国人が作った学会から始まった（植民地科学→日本人が自力で研究ができるようになり、アメリカ西部に金森/安芸が大学教授に転出、当時のUSAに地震学なし）

- 金森博雄の地震学の体系化；弾性体を仮定→地球内部のマントルは対流する粘性流体（弾性体）だが、表層の100kmは剛体→割れる、弾性体なら割れない（自己矛盾）
- プレートテクトニクスではスラブトップで地震が起きると解釈した
- ところが、1980年代後半になって、スラブトップはfree-slipが実証された；ただし海溝地震を除いて！
- そして固着問題が論争になった→**固着のプロセス（物質科学）の議論がない（地震学から外側に出ろ！）**

79

地震とは何か

- 金森博雄の地震学（弾性体を仮定vs弾性体は内部破壊＝地震断層なし）。しかし歴史的には意味がある（ホイッグ史観）
- 剛体（プレート）と弾性体（粘性流体）の間は不連続か？
- 例；①氷と水（不連続）②マントル（800℃で不連続；ただし含水橄欖岩は26GPa, 1,600℃まで脱水分解反応が起きると脆性化して破断する；ただし**スラブ内部に限られる**）、③花崗岩（350℃で不連続）
- **水の役割**；1）物性、特に地震の起源、2）地球規模の水循環（**スラブが運ぶ**；上部マントルだけ）、3）**地球だけが生命惑星になり、生物進化を可能にした原因である**。それは、①プレートテクトニクス + ②大気/海洋 ③大陸 + ④生物、の**カルテット惑星**（Ross Taylor, ANU Group, 1986）の指摘の実体である
- 従って、月、火星のマントルには水がある筈で、ABEL地球モデルから、**水星と金星のマントルにも水があるだろう（予測）**；これは地震の存否で検証できる！

80

地球断面図で示す地震地域 (地震はスラブの中に限られた現象)

- これが意味するもの

81

まとめ：地震とは何か

- プレート運動による歪の蓄積と流体（水）の拡散による歪の開放
- 中央海嶺直下（+火山直下）、トランスフォーム断層、海溝地震（剛体プレートの破壊）
- 浅い地震；ほとんどが大陸地殻（<35km）内部で起きる
- 深い地震（35–680km、800–1,600℃）；深く沈み込んだスラブの中でだけ起きる（脱水脆性破壊化現象）
- 剛体から粘性流体への移行は不連続の現象ではない（化学組成と温度圧力に依存；地殻は更に複雑＝断層、割れ目、粘土、自由流体など）

82

地震学は日本に来た英国人が作った学会から始まった（植民地科学→日本人が自力で研究ができるようになり、アメリカ西部に金森/安芸が大学教授に転出、当時のUSAに地震学なし）

- 金森博雄の地震学の体系化；弾性体を仮定→地球内部のマントルは対流する粘性流体（弾性体）だが、表層の100kmは剛体→割れる、弾性体なら割れない（自己矛盾）
- プレートテクトニクスではスラブトップで地震が起きると解釈した
- ところが、1980年代後半になって、スラブトップはfree-slipが実証された；ただし海溝地震を除いて！
- そして固着問題が論争になった→**固着のプロセス（物質科学）の議論がない（地震学から外側に出ろ！）**
- **インバージョンモデルの発展→しかし、既存の地質構造（スラブトップの流体滞留層）、剪断帯、その違法性、熱水循環が断層の位置や拡散方向を決める**

83

地震とは何か

- 金森博雄の地震学（弾性体を仮定vs弾性体は内部破壊＝地震断層なし）。しかし歴史的には意味がある（ホイッグ史観）
- 剛体（プレート）と弾性体（粘性流体）の間は不連続か？
- 例；①氷と水（不連続）②マントル（800℃で不連続；ただし含水橄欖岩は26GPa, 1,600℃まで脱水分解反応が起きると脆性化して破断する；ただし**スラブ内部に限られる**）、③花崗岩（350℃で不連続）
- **水の役割**；1）物性、特に地震の起源、2）地球規模の水循環（**スラブが運ぶ**；上部マントルだけ）、3）**地球だけが生命惑星になり、生物進化を可能にした原因である**。それは、①プレートテクトニクス + ②大気/海洋 ③大陸 + ④生物、の**カルテット惑星**（Ross Taylor, ANU Group, 1986）の指摘の実体である
- 従って、月、火星のマントルには水がある筈で、**ABEL地球モデルから、水星と金星のマントルにも水があるだろう（予測）**；これは地震の存否で検証できる！

84

地球断面図で示す地震地域 (地震はスラブの中に限られた現象)

- これが意味するもの
- 弾性体と剛体の議論；実態はその中間で、野外観察、観測、レオロジーの実験から現実的な実態に近似した、『新たな地震学』の体系化が必要

85

まとめ：地震とは何か

- プレート運動による歪の蓄積と流体（水）の拡散による歪の開放
- 中央海嶺直下（+火山直下）、トランスフォーム断層、海溝地震（剛体プレートの破壊）
- 浅い地震；ほとんどが大陸地殻（<35km）内部で起きる
- 深い地震（35–680km、800–1,600℃）；深く沈み込んだスラブの中でだけ起きる（脱水脆性破壊化現象）
- 剛体から粘性流体への移行は不連続の現象ではない（化学組成と温度圧力に依存；地殻は更に複雑＝断層、割れ目、粘土、自由流体など）

86

地震学は日本に来た英国人が作った学会から始まった（植民地科学→日本人が自力で研究ができるようになり、アメリカ西部に金森/安芸が大学教授に転出、当時のUSAに地震学なし）

- 金森博雄の地震学の体系化；弾性体を仮定→地球内部のマントルは対流する粘性流体（弾性体）だが、表層の100kmは剛体→割れる、弾性体なら割れない（自己矛盾）
- プレートテクトニクスではスラブトップで地震が起きると解釈した
- ところが、1980年代後半になって、スラブトップはfree-slipが実証された；ただし海溝地震を除いて！
- そして固着問題が論争になった→**固着のプロセス（物質科学）の議論がない（地震学から外側に出ろ！）**

87

地震とは何か

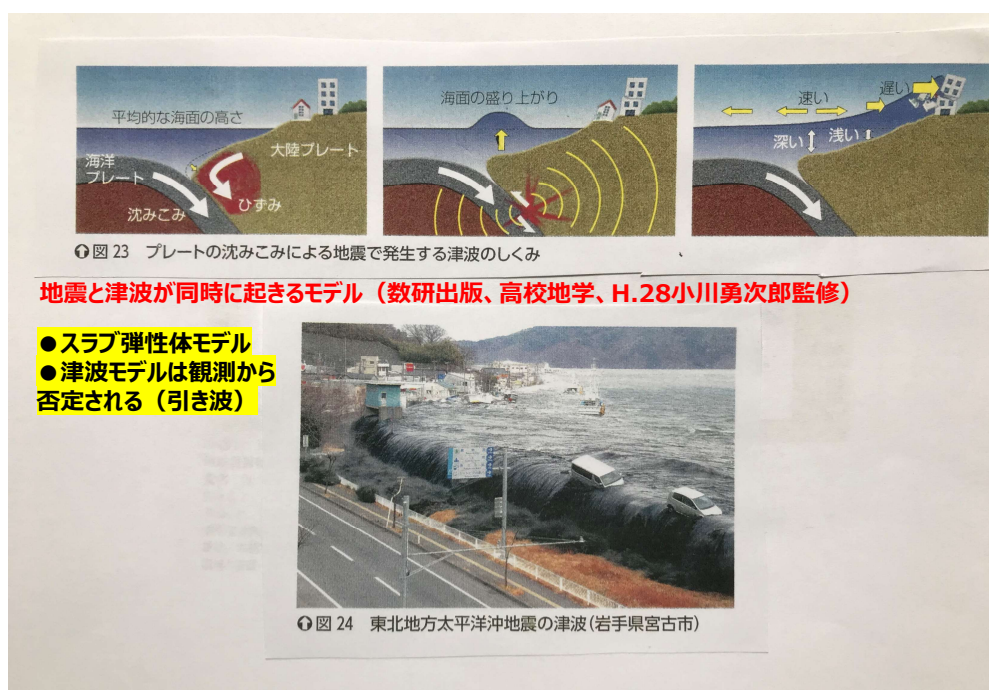
- 金森博雄の地震学（弾性体を仮定vs弾性体は内部破壊＝地震断層なし）。しかし歴史的には意味がある（ホイッグ史観）
- 剛体（プレート）と弾性体（粘性流体）の間は不連続か？
- 例；①氷と水（不連続）②マントル（800℃で不連続；ただし含水橄欖岩は26GPa, 1,600℃まで脱水分解反応が起きると脆性化して破断する；ただし**スラブ内部に限られる**）、③花崗岩（350℃で不連続）
- **水の役割**；1）物性、特に地震の起源、2）地球規模の水循環（**スラブが運ぶ**；上部マントルだけ）、3）**地球だけが生命惑星になり、生物進化を可能にした原因である**。それは、①プレートテクトニクス + ②大気/海洋 ③大陸 + ④生物、の**カルテット惑星**（Ross Taylor, ANU Group, 1986）の指摘の実体である
- 従って、月、火星のマントルには水がある筈で、ABEL地球モデルから、**水星と金星のマントルにも水があるだろう（予測）**；これは地震の存否で検証できる！

88

地球断面図で示す地震地域 (地震はスラブの中に限られた現象)

- これが意味するもの

89



90

津波

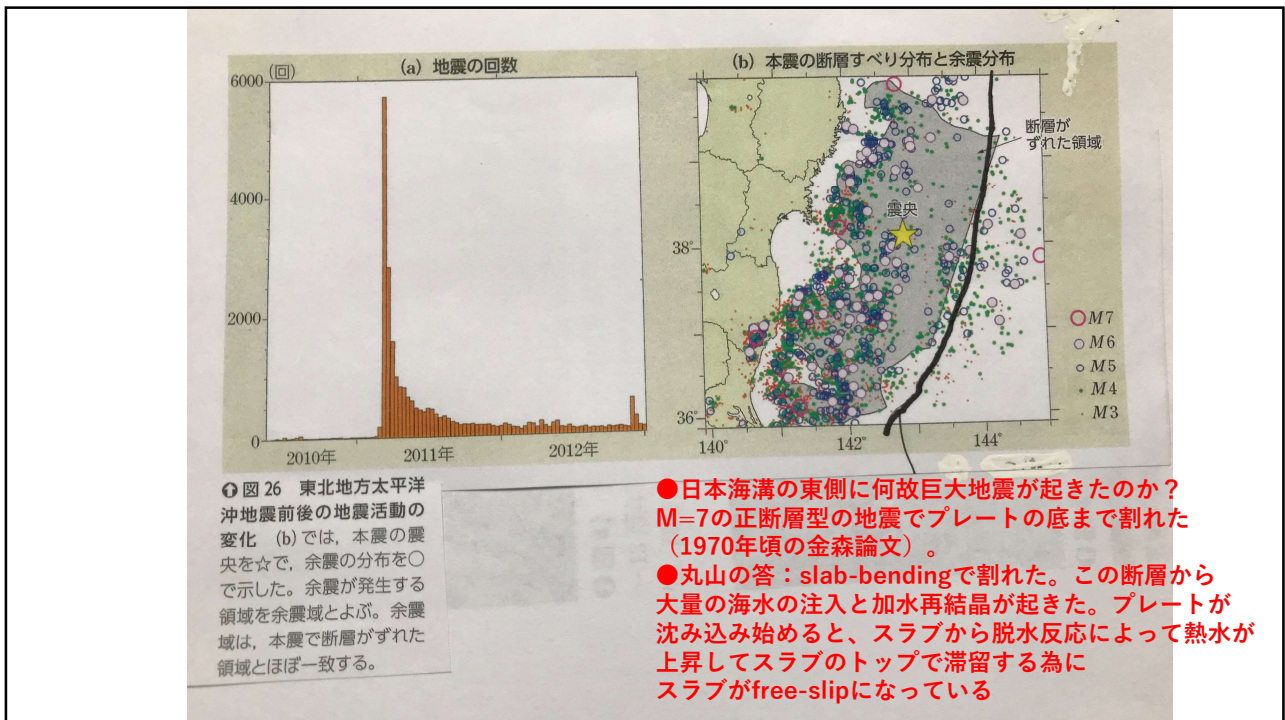
津波と津波防災技術

91

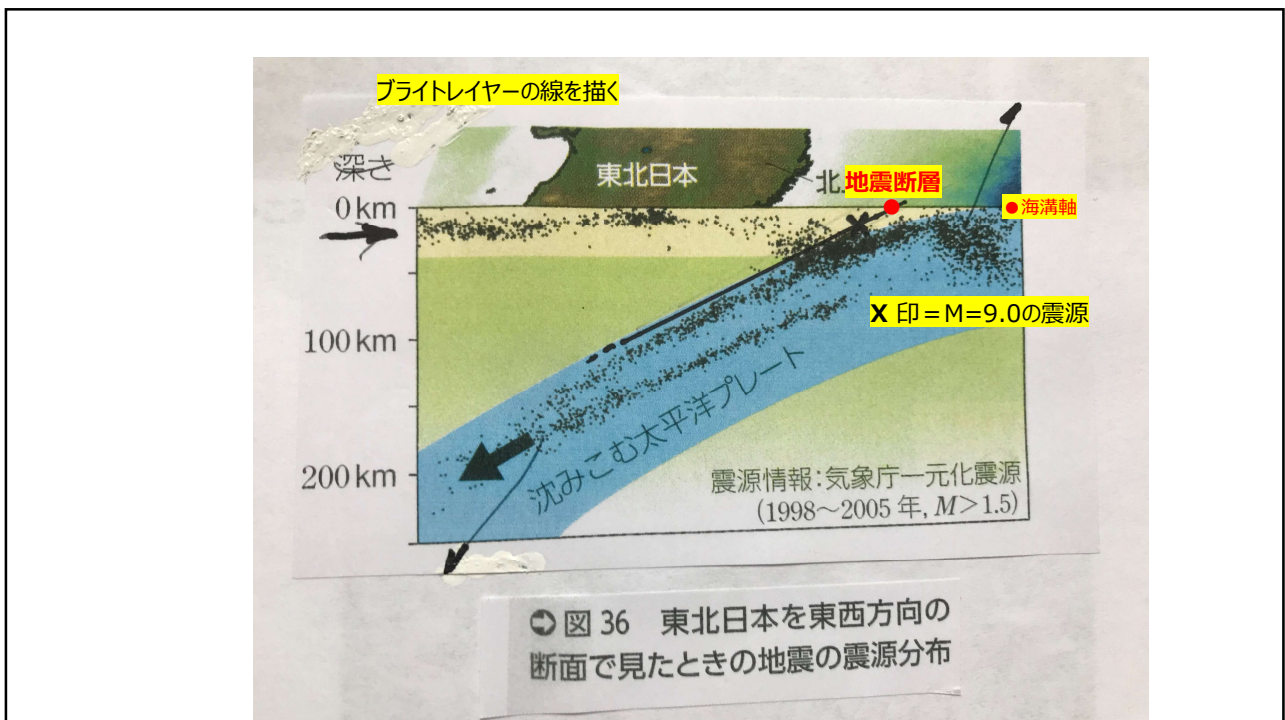
5 海溝外壁正断層地震と津波災害

- 1 津波災害は海溝大地震とは直接関係しない
- 2 災害大津波は全て海底大地滑り
- 3 1933年三陸沖アウターライズ地震による東→西に向かう大規模高速地滑り堆積体による三陸津波の存在（太平洋プレート上には1kmを越える厚さの遠洋性堆積物 + 火山岩がある）
- 4 アウターライズ地震が、①十勝沖（年）から、②三陸沖（1933年）、③仙台沖（2011年）、④房総沖（2089年？）に近付いている

92



93



94

新しい断面図（長谷川G）

- ● 海溝地震の震源分布図
- ● 3.11以降の海底地震計ネットワーク（150億円）とその成果（in press）
- ● 既存のデータを利用（ある特定の反射波）すると、3.11のM=9.0以降の5分間の余震域拡大が検証できる！

95

スラブ表層から最深部60kmまでの加水が、どこで、どのようにして起きるのか？

- ● 東北日本沖では太平洋プレートは沈み込む直前に『折れ曲がり』が起きる。海溝海側斜面に観察される巨大正断層の存在が折れ曲がりの証拠である。その時に南北走向に伸びる正断層が生まれる。1970年に起きた三陸沖大地震と千勝沖大地震がその例である。これらの大断層は約60km深度の太平洋プレートの底まで断層が突き抜けたと言われている。
- ● その断層に沿って、4℃の海水が侵入して、無水マントル鉱物の加水蛇紋岩化が進み、蛇紋岩による体積膨張が断層面を更に拡張しつつ加水は深部に拡大する。
- ● 加水スラブが沈み込むと、温度と圧力の上昇の為に、含水鉱物が化学分解して脱水流体が上昇する。これがスラブトップに集積してスラブトップが無震地帯になる。
- ● 中・深部地震の温度圧力領域では、スラブの温度は800℃を軽く超えて、660km深度では1,600℃に達する。800℃を超えるとスラブは流動して剛体でなくなる。その領域で何故地震が起きるのか？
- ● その回答が、ダイヤモンドアンビルの含水鉱物の分解実験によって明らかになった。『脱水脆性破壊がスラブの中一深部地震の原因』と思われる。
- ● こうして、スラブの内部から定常的にスラブトップへ熱水流体がもたらされ、スラブは歪フリーの状態ですら上部マントルの底まで運ばれる。

96

海溝陸側斜面直下の脱水作用と震源にどのような関係があるのか？

- 観測：長谷川グループの大雑把な推測でも、**スラブトップと上盤側プレートの両方の地域で地震が頻発する**
- 問題：しかし、深度方向の精度が悪い（そこで、島村は海底地震計を開発して大陸棚の海底下の地震を数か月程度観測）→**これまでの観測は間違いと結論**
- 新しい発見：**海溝外壁が正断層で破壊される地震の発見→スラブの底まで割れ目が到達（M7程度の地震）→3.11の余震でも観測された**

97

新図：扇型のスラブが曲がる場所で加水が起きる
沈み込むと逆に脱水分解反応が起きて、熱水が上昇して350℃付近でシリカが溶脱する：これがブライトレイヤーの起源

- ●その後の脱水作用と流体の行方
- ●350℃の等温線の大体の位置
- ●350℃で熱水とシリカの沈殿（溶解度曲線）が不透水層を造る理由

98

近未来予測と防災技術；莫大な税金の無駄遣いは止めろ！

政府の（地震＋津波）防災は南海トラフに集中；2011年以降、何の予兆もなし、更にノーマークの能登地震と津波災害が2024.01.03に起きた（猪瀬直樹の痛烈な批判、2024、9月号、＋福島廃炉原発法、再考せよ）

99

島弧－海溝間隙直下の大構造

- 本震（M=9.0）と余震の震源の観測データは石巻－海溝軸の中間点付近で深度20kmの大陸地殻中央部であり、スラブトップではない。余震の広がりも四方に拡大して、地震断層が表層に達した為に海底GPSの記録が、その断層面の位置を示唆している。それがプレート力学境界（撓んだスラブの接線が100km深度から地表に達する断層面）に相当する。
- 破壊がほぼ終了した4－5分後に、次の破壊域が南部（ ）で始まり、余震は現在まで続いている。一方、北方では南方のような新たな歪蓄積地域はない。このステージまでにスラブの上面で固着が剥がれ、通常のスラブの沈み込み状態に戻った。

100

20110311東北大地震の本震直後の地震 (M>1) の震源の拡大と断層面のすべり量の変化

- 0-1分後：震源 (M=9.0、地下20km) から半径100kmの範囲に断層面が拡大
 1-2分後：断層面は北北東に拡大し、断層面は
 2-3分後：海溝軸の西側斜面に露出しただろう
 3-4分後：破壊は北東側でほぼ終息した
 4-5分後：最後に断層面は茨城から房総半島-関東平野に拡大し (余震活動) 関東平野直下に歪を蓄積しつつある

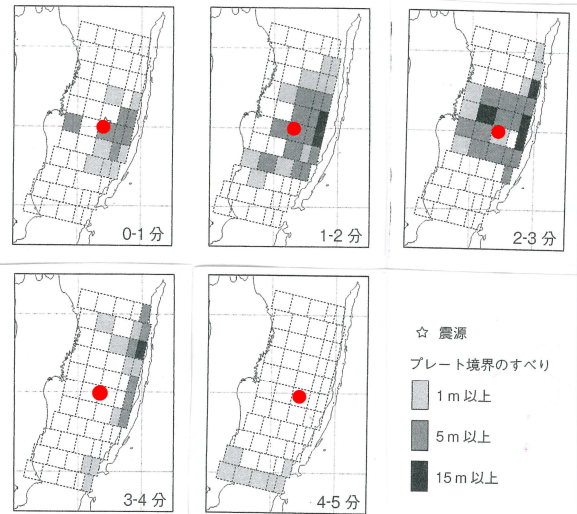


図0-2 東北地方太平洋沖地震の、断層面に沿ったずれの時間変化。Satake et al. (2013, BSSA) の解析をもとに図化した。断層がずれ始めてから1分ごとのずれの量をおおまかに示した。

101

パワポで説明

- 三次元地図の鳥観図 (+ 東西断面図) でシナリオを解説する
- 新たなスラブの固着が始まっている。スラブの固着は小さな地震 (トレマー地震) がランダムに起きる場所 (地殻流体の浸透) であって、全くの空白域ではないだろう。地震とは地殻流体の拡散 (鉱物の格子欠陥から鉱物粒子の境界、割れ目、断層面) と1:1に対応して、ランダムな弱面が空間的に繋がり、最終的に平面状の断層面が誕生する現象。
- 次の歪が蓄積する地域は、太平洋スラブの中央部 (3.11で解消) から北海道側でなく、南方の茨城-千葉房総地域の太平洋スラブ南部地域に移動中である。
- 関東平野直下には、PHSスラブが太平洋スラブ起源の脱水流体を遮断している。この効果が関東平野全体の地震被害に与える影響はまだ不明だが、房総半島の大地滑り崩壊が与える東京湾への津波災害対策は考慮すべき重大な課題である。

102