

第2章 地盤力学/工学者のための「首都直下地震」

首都直下地震の章では、つぎの三つ

- ① 1923 年大正関東地震とはどんな地震だったか？
- ② 来るべき首都直下地震に関する、2013 年の内閣府による検討対象地震の想定
- ③ 地震の発生間隔とそのモデル化

を説明していく。「首都直下地震によって首都圏社会が蒙る被害の想定」には殆ど入り込むことはしない。**地震による大都市域での表層地盤の災害**は、この連載の後半の話題である。

この**第2章**は、大部分を平田直著「**首都直下地震**」**岩波新書(2016)**の一冊に依拠した。だからこの章は、10 万字のこの本の、少し偏りはあっても、10 分の 1 の縮刷版と考えて頂いてよい。

筆者がこの「縮刷版もどき」を作成した意図は、近年の**地震学の進歩**が、①～③にどのように大きく寄与しているかを、地震学にはそれほど詳しくない一般の地盤・土木の研究者/技術者に、出来るだけ分かり易く、しかも具体的に、説明することにある。地震が専門ではない地盤工学の筆者にそれがどこまでできるかは、心もとない。第2章は、地震学と地盤力学には、どこに接点があるのか、それとも両者は全く別の学問なのか、それを地盤力学/工学の側が考える手掛かりになればと思ってまとめた。しかしそれは果たせなかった。**第4章**で再考する。

第1章では「予備知識」をまとめて冒頭に書いたが、**第2章**では必要な予備知識は必要な場面でその都度、順次述べてゆく。

2.1 首都圏を襲った M8 クラスの巨大地震

首都直下地震とは、「東京圏及びその周辺の地域における地殻の境界又はその内部を震源とする大規模な地震」をいう（首都直下地震対策特別措置法、2013 年）。過去に起こった特定の具体的な地震のことを指すのではない。

しかし来るべき首都直下地震を想定するうえで重要なのは、もちろん首都圏で過去に起こった地震を、現代の地震学の目から調べ直すことである。これは**歴史地震学と現在の地震学の知見との統合**と呼ばれている。例えば**安政江戸地震**(1855 年 11 月 11 日午後 10 時頃)は、震源の場所や深さのはっきりした特定こそ難しいが、「マグニチュードは M7.0～M7.1 程度でフィリピン海プレートの内部で起きたスラブ内地震であった」、などはこれに当たる。しかしここでは、この話題にこれ以上深く触れることは出来ない。

首都を襲った巨大地震（M8 クラス）のうち近代的な地震計で計測されたものは、1923 年の大正関東地震の僅か一つしかない。これがどのような地震であったかは、つぎの①～③のように纏められる。

- ① 関東からかなり離れた岐阜測候所で 1993 年に発見された地震の波形データによると、

1923 年 9 月 1 日 11 時 58 分 32 秒に M7.9 の地震発生、3 分後 12 時 01 分に M7.2 の地震発生、そして 5 分後の 12 時 03 分に M7.3 の地震発生、震源は順に神奈川県西部、続いて東京湾北部、最後は山梨県東部で、これら三つは「本震・余震」とは呼ばず、「**本震は三つ子の地震だった(multiple shock)**」と呼ばれている。震源域（断層面）に近い熱海では、わずか 5 分後に高さ 12m の津浪が襲来した。

② **Me-So Net による首都圏地震観測網**（詳細は次節以下で説明）を使った現代的な地震学の手法での解析/知見によると、この地震は相模トラフ沿いフィリピン海プレート上面で起こった海溝型地震（プレート境界地震、次節図 2.2 で左側②の場所）で、震源域（断層面）の大きさは長さ 100 km 幅 50 km で、ずれの量は数 m（最大 6～10m）で、**かなり浅く**、東京湾の深部（北部）まで及んでいると考えられている。これは**新しい知見**である。

③ この大正関東地震では、大きな余震が二つ起こっている（翌日 9 月 2 日勝浦沖 M7.3、翌年 1924 年 1 月 15 日「丹沢地震」M7.3）。

以上では、②が大変重要である。Me-So Net による首都圏地震観測網は 2008 年～2012 年に完成したものだが、この観測網によって得られた新しい知見によって、2004 年当時の内閣府の首都直下地震被害想定では首都機能に最も大きな影響を与えると重要視されていたフィリピン海プレート上面での「東京湾北部地震」の想定は、20013 年に内閣府の想定からは削除されることになった。理由は「1923 年大正関東地震が 2004 年時に想定 of 東京湾北部地震に当たり、同じような M8/M7 クラスの地震は、もう将来百年程度以内では起こらない」というものである。

しかし新しい知見によって詳細が少し分かってきたとは言え、大正関東地震の一地震だけからだけで、M8 クラスの首都直下地震は、もう近々数十年では起こらないと言い切ることは、さすがに難しい。この地震以前に、この地域で同じような地震がいつ、何回来たのかなど、**発生間隔の推定**には過去にさかのぼってデータの収集が必要である。たとえば地震本部・地震調査委員会（2014 年）は、さきの「**歴史地震学と…の統合**」も踏まえ、永仁関東地震（1293 年）、元禄関東地震（1703 年）を、首都圏に影響を及ぼした M8 クラスのプレート境界型の巨大地震と判断して、**平均発生間隔を約 320 年**（ $1703 - 1293 = 410$ 年と $1923 - 1703 = 220$ 年の平均値！）と評価している。

僅か三つからの平均値などは、大標本が前提の数理統計学の目からはとても信用しづらい、無茶な話ではある。しかし**現代でも、地震学では**、M8 クラスのプレート境界地震は「**比較的周期的に**」起こるのに対し、M7 クラスのスラブ内地震は「**まったく不規則的（ランダム）に**」起こるとされている。これがどのようなことかは、2.3 節～2.5 節でもう少し詳しく、現代地震学の成果も踏まえて、見て行くことにする。

2.2 内閣府による首都直下地震の被害想定（2013 年）での検討対象地震

(1) 2013 年度の内閣府被害想定

内閣府は、2004 年にも同様の被害想定を行っていたが、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震（3.11 地震、M9）の発生を受けて、2011 年 8 月に首都直下地震モデル検討会を設けて、2004 年版の改定に着手した。そして最新の地震学の成果も取り入れる形で、2013 年 12 月に改訂版が出された。

東京圏は日本でも有数の地震多発地帯であるが、それは図 2.1、図 2.2 をみても頷ける。



図 2.1 南南東から北北西に潜り込むフィリピン海プレート

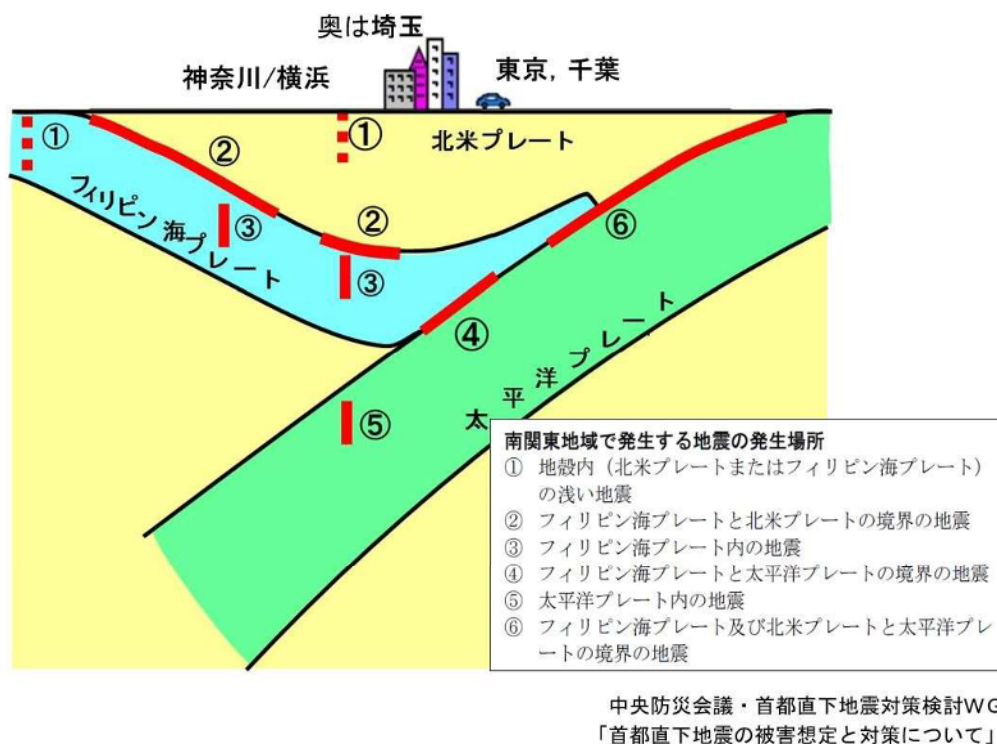


図 2.2 プレート断面図と首都圏の地震発生場所

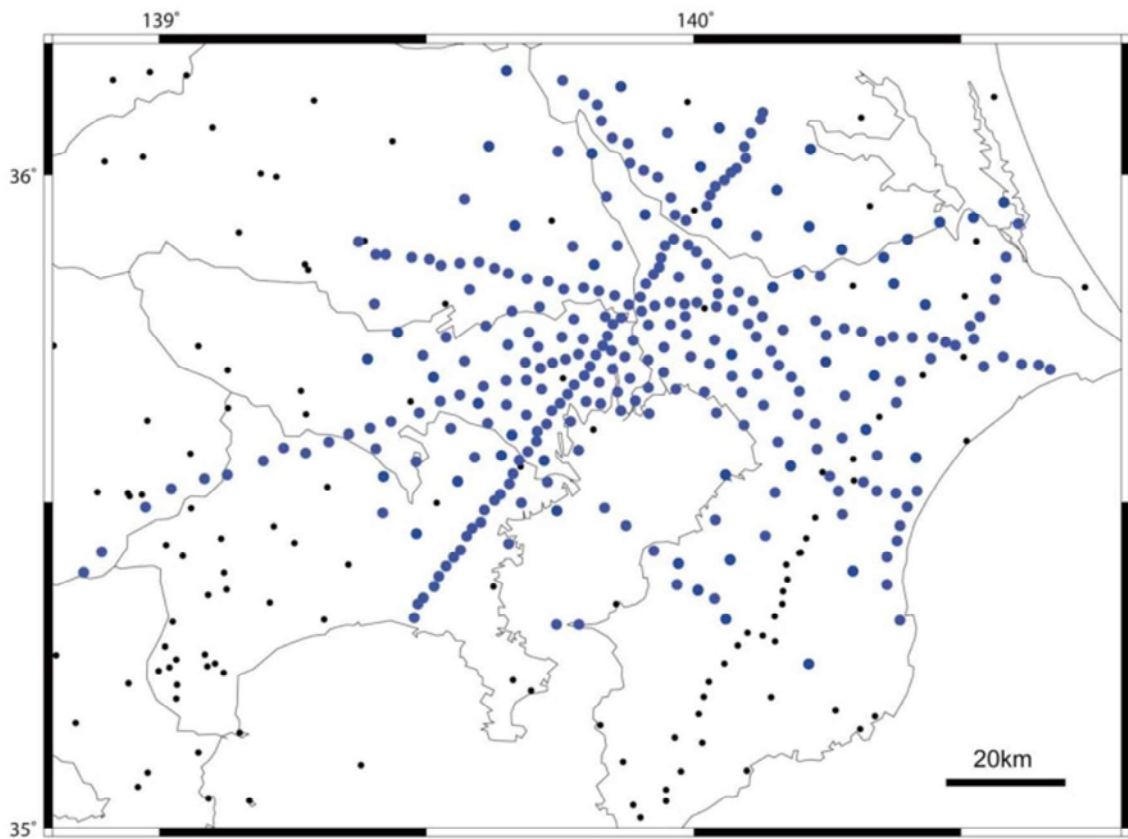
改訂にあたっては、3.11 地震直後らしく、「あらゆる可能性・・・最大クラスの巨大地震・津波」が新しく検討の対象に上った。しかしそれを除いても、2004 年時には検討対象になっていたものが除外された地震もあれば、新たに検討対象になった地震もある。

検討対象地震を、M7 クラスの大規模地震と、M8 クラス超の巨大地震に分けて示したものが表 1 で、図 2.3 は M7 クラスの検討対象地震の想定位置の平面図である。

表 2.1 内閣府首都直下地震被害想定（2013）での検討対象地震

地震の規模		想定場所	2013 年検討での地震のタイプ
M 7 ク ラ ス の 地 震	発生場所の想定が難しく、都区部および首都地域の中核都市等の直下に「想定する地震」	都心南部直下	フィリピン海プレート内の地震（Mw7.3）
		都心東部直下	
		都心西部直下	
		千葉市直下	
		市原市直下	
		立川市直下	
		川崎市直下	
		東京湾直下	
		羽田空港直下	
		成田空港直下	
		さいたま市直下	地殻内の浅い地震（Mw6.8）
		横浜市直下	
	地震の発生場所が想定される地震	茨城県南部	プレート境界の地震（Mw7.3）
		茨城・埼玉県境	
		東京湾北部	想定なし
		多摩	想定なし
		関東平野北西縁断層帯	活断層（Mw6.9）
		立川断層帯	活断層（Mw7.1）
		三浦半島断層群主部	活断層（Mw7.0）
伊勢原断層帯		活断層（Mw6.8）	
神縄・国府津－松田断層帯		想定なし	
西相模湾		地殻内の浅い地震（横ずれ断層型）	
検討対象の地震（M7 クラス）			19 地震

地震の規模	想定場所	2013 年検討での地震のタイプ
海溝型地震 M8クラスの	大正関東地震タイプの地震	相模トラフ沿いの海溝型地震（Mw8.2）
	元禄関東地震タイプの地震	相模トラフ沿いの海溝型地震（Mw8.5）
	延宝房総沖地震タイプの地震	日本海溝沿いの海溝型地震（Mw8.5）
	房総半島南東沖で想定されるタイプの地震	相模トラフ沿いの海溝型地震（不明）
検討対象の地震数（M8 クラス）		4 地震



MeSO-netによる首都圏地震観測網

図 2.4 首都圏地震観測網 Me-So Net

地震の発生の理解のためには、地下深部のプレート岩石に働く力の分布と、岩石強度の分布を知ることが大事だが、力の分布などは、直接には測りようがない。しかし地下の岩石を伝わる地震波の伝搬速度とその減衰の測定から、プレートの形と内部の岩石強度の分布などはかなり明確に推定できる。「地震波トモグラフィー」と呼ばれる手法がそれである。ある地震を、一つの地震計で測定してもプレートの形や内部構造は分からないが、線状に稠密に並んだ複数の地震計データがあると、医学における CT スキャンと同じ数理手法で、内部構造が浮かび上がるというものである。

地震波トモグラフィーによる、首都圏地下深部のプレートの重なりなどの観測結果を図 2.5 に示す。

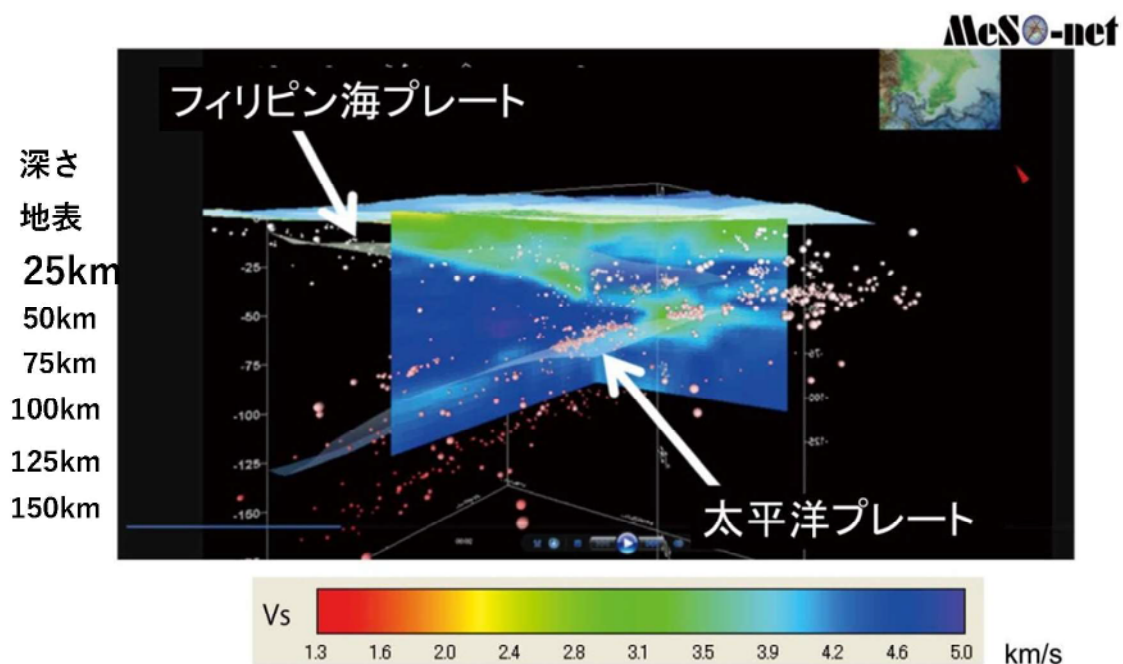


図 2.5 地震波トモグラフィー

図 2.5 に示した観測によって、フィリピン海プレート上面の深さが、従来想定されていたよりも約 10 km 浅いことが分かったことが最も重要である。前節 2.1②の新しい知見は、これを反映したものである。プレートの上面は、首都圏に大きな被害を及ぼす地震の発生場所だが、それが浅いことが分かったということは、震源から同じエネルギーが解放されたとき、地表の揺れは大きくなることを意味する。したがって表 1 の M7 クラスの地震は、2004 年時の内閣府の被害想定よりは大きな被害をもたらすと考え直されることになる。2004 年時に想定されていた「東京湾北部地震」では東京 23 区の 5 割の地域で震度 6 強の強い揺れをもたらすと考えていたが、2013 年の改訂版では、新しく想定された都心南部直下地震などでは 7 割の地域で震度 6 強と改められている。強い揺れの領域が増えることになったのである。しかしこれについては、同時に以下も覚えておいた方がよい。気象庁の震度データベースによると、1923 年大正関東地震以来 103 年が経つ今日、都心で震度 5 強が観測されたのは 3.11 地震も含めて僅か 3 回、震度 5 弱でも 10 回、高層ビルの大きな揺れで知られるようになった長周期地震動も震度 5 以上では 3.11 地震の時の一回きりである。(ただし長周期地震動の生成は、堆積盆地である関東平野でも、河川沿いに 2007 年中越沖地震(M6.8)のときに観測されている。第 4 章でも触れる。)

(3) 内閣府被害想定（2013）での検討対象地震

さて前置きが長くなったが、表 2.1 と図 2.3 の説明に移る。

内閣府の首都直下地震の被害想定（2013 年）は 3.11 超巨大地震の発生を受けてのもの

であったから、発生頻度が極めて低くても発生すれば巨大な被害をもたらす、超巨大地震も検討された。それらは、相模トラフ沿いの M8 クラスの地震が 3 つ、日本海溝沿いの地震がひとつ、そして最大クラス津波をもたらす 3 つの相模トラフ沿いの海溝型地震（西側、中央、東側モデル）の 7 つであり、これらは表 1 の最上段と第 2 段に示している。これらは、確かに検討はされたのだが、しかし 2.1 節の永仁関東地震（1293 年）、元禄関東地震（1703 年）大正関東地震（1923 年）でも見たように、その発生頻度の極端な低さから、内閣府は「これらの最大クラスの地震がつぎに関東を襲うとは考えにくい」としている。

表 2.1 で重要なのは、M7 クラスの大規模地震 19 個である。これは地震の発生場所が概ね想定できる地震 7 個と、発生場所の想定が難しいフィリピン海プレート内部の地震 12 個からなっている。陸側の地殻表層に活断層の痕跡がのこる内陸の地震などは前者に当たり、海側プレート内部で起こるスラブ内地震などは後者に当たる。2004 年時の M7 クラスの想定地震 18 個との比較は示すことはしない。しかし、たとえば伊豆半島東側の西相模湾の地震は、近年の地殻変動データから歪エネルギーが蓄積されていると判断されたものである。2013 年の内閣府想定は、このようにごく近年の地震学研究の成果までも反映されて、M7 クラス 19 個が選ばれていることは強調しておきたい。

19 個の地震の説明は図 2.3 中にも書き込まれている。このうち都心東部直下地震は直上の霞が関が、都心西部直下地震は直上の新宿が考慮されていて、都心南部直下地震とともにいずれも $M_w=7.3$ が想定されている。ただしこれらが、過去に起こった地震ではないことは、2.1 節冒頭に述べたとおりである。

なお M_w はモーメントマグニチュードのことで、気象庁マグニチュード M とは少し異なる。モーメントマグニチュード M_w は第 1 章の 1.1 の予備知識 ②で述べた地震モーメント M_0 から計算されるものではあるが、エネルギーを基にした尺度であることが重要で、物理的意味が明確である。一方「気象庁マグニチュード M 」は地震波/地震計の振幅記録をもとに計算されるもので、地震の規模が大きくなると、 M が 8.3 とか 8.4 のあたりで数値が上に頭打ちになる。つまり「 M は超極大地震には弱い」ことになる。東北地方太平洋沖地震（3.11 地震）のとき、気象庁は最初気象庁マグニチュードで 7.9 と発表し、地震一時間後の午後時前に 8.4 と訂正した。その後気象庁はモーメントマグニチュードも計算し、日本で得られたデータだけからだと思われるが、マグニチュードを 8.8 と再訂正した。ところが一方米国地質調査所(USGS)は、世界中の長周期地震動の観測の収集に基づき、地震発生から僅かの時間で、震源域（断層面）の大きさと合わせて、この地震のモーメントマグニチュードは $M_w=9.0$ と発表していた。モーメントマグニチュードは原理的に、どんな大規模地震でもその値が上に頭打ちになることはない。気象庁は 3 月 13 日、地震の二日後の昼 12 時 22 分になって、マグニチュードは 9.0 であったと発表することになる。

2.3 「東海地震の予知の前提」と海溝型のプレート境界地震の発生メカニズム

いきなり地震発生間隔の確率論的な予測モデル（2.5 節）に入り込むと、それは知識の押し付けに過ぎず、我々「素人」にはとても受け入れるのが難しい。地震は、海溝型のプレート境界地震、海側プレートの中のスラブ内地震、陸側プレートの活断層などによる内陸型地震、等に分類されている（第 1 章 1.1①）。それは、それぞれの地震の**発生メカニズム**には少々の違いはあると、**地震学自身が認めている**からである。しかしどの種の地震も、なぜ、なべて、「予知はできない/難しい」ということになるのか？

地震予知の難しさの**力学的な側面**について、本節では比較的研究が進んでいる**海溝型のプレート境界地震**を中心に説明を試みたいと思う。M7 クラスが中心の首都直下地震を述べているこの章で、本節は第 1 章へ後戻りするように見える。しかし次々節 2.5 に進む前の「予備的な知識」として、本節はどうしても必要である。

(1) 東海地震の予知の可能性

東海地震は日本でも唯一「地震予知の可能性が高い」と言われているが、この予知のための物理的モデルは**前兆滑りを前提とするところにその特徴がある**。東海地方の下では、フィリピン海プレートが 5 cm/年くらいの速さで駿河トラフから、陸側のプレートの下に沈み込んでいる。ところが陸側のプレートとフィリピン海プレートの境界には、広く固着した部分があるため、陸側プレートもフィリピン海プレートに引きずられて、同じように沈み込むことになる。これを図 2.6 に漫画的に描いた。

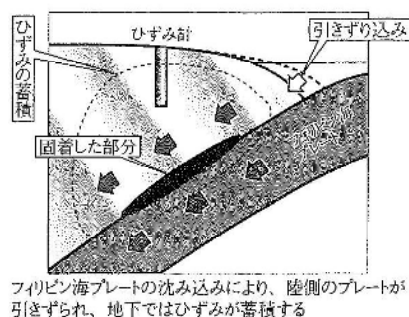


図 2.6 プレート境界での固着部分と陸側プレートの引きずり込み

ところが、東海地震（プレート境界地震）が発生する前に、広く固着した部分の一部が**はがれ始めると考えれば、ゆっくりした滑り（前兆滑り pre slip）が始まるのではないかと想像された**。この前兆滑りが、**東海地震が予知できるための大前提である**。気象庁は想定震源域の中で多数の高精度な歪計を設置し、常時この前兆滑りが起こっていないかを監視し続けている。ゆっくり滑りが検出出来て、しかも本震との間に十分な**時間的余裕**があれば、東海地震は「予知できる」というものである。図 2.7 は**固着部分の中の剥がれ（はがれ）部分**とそれによる**ゆっくり滑り（前兆滑り）の発生**を陸側プレート内に設置したひずみ計で観測している様子を漫画的に描いたものである。

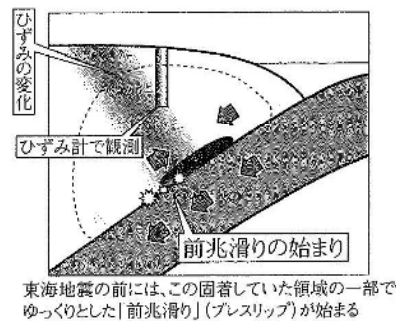


図 2.7 固着部分の一部のはがれとゆっくり滑りの発生

このような現象は「摩擦論的」につぎのように理解されている。図 2.6 は摩擦力とフィリピン海プレート沈み込みによる滑らせようとする力がつり合っていて、引きずり込み滑り速度は 5 cm/年以下の超低速である。これのひずみ計による検出は難しい。ところが滑り始めると、摩擦力が次第に弱まってきて（**摩擦力の滑り弱化**）、滑り速度（陸と海の二つのプレートの相対変位速度）が徐々に早くなって、陸側プレートに蓄えられた歪エネルギーの解放が、陸側プレートの「ゆっくりした跳ね返り」としての前兆滑りに繋がっている。摩擦力の滑り弱化がさらに進むと摩擦力は急激に小さくなり、最後には急激滑り（陸側プレートの急激な跳ね返り）、つまり地震に至るというものである。

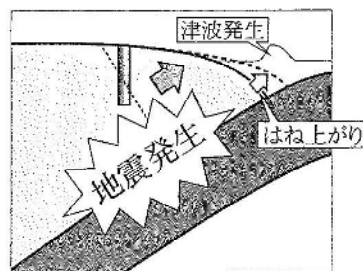


図 2.8 地震発生

ところが再び「摩擦論」的に言えば、上の説明とは真逆に、滑り始めると摩擦力が大きくなるような「**摩擦力の滑り強化**」も勿論考えうる。この時は最初例え**前兆滑り（ゆっくり滑り）が発生しても、やがてそれは止まり、地震には至らないことになる。**

ゆっくり滑りは、気象庁などによれば、東海地震の震源域のさらに深いところで、断層のずれ量が数 cm、震源域の大きさが 20×10 km、Mw で 6 程度の、地震には至らないゆっくり滑りだけが数か月に一度、数日～10 日間ほど持続して観測されている。地震に至らないゆっくり滑りは紀伊半島沖など、別のもう少し深い場所でもしばしば間欠的に観測さ

れている。浅いプレート境界では、「固着と急速なずれ（地震）」の二つの状態だけでなく、ゆっくり滑りだけが間欠的に表れる「**摩擦の滑り強化**」も、実際に観測されているのであって、実在の現象なのである。ゆっくり滑りとは言え、 M_w を見れば、大きなひずみエネルギーの解放を伴っているのは明らかである。プレート境界での歪エネルギーの蓄積は、**地震だけによって解放されているのではなく、摩擦の滑り強化を伴うゆっくり滑り**も、プレート沈み込みのエネルギーの解放に大きく寄与している。これは「地震の数が足りない」と表現されることがある。卓抜な表現であると筆者は感嘆するが、2000年以降の地震学の大きな話題の一つのはずである。

いくら「地震予知の可能性が高い」といっても、東海地震の予知の大前提つまり「前兆滑り（pre slip）の後に本震が来る」が、この東海沖の地域ではっきりと確かめ済みのものではないことは、やはり強調しておきたい。**ゆっくりした滑りを観測して、それが大地震の前兆であると判断できて、地震予知に至った事例は、まだ一度もないと思う。**

上で「摩擦論」など書いたが、**弾塑性摩擦構成則は、実は地盤力学で、2000年以降**だとは思うが、かなり早くから大きな**研究課題**になっていて、研究は近年、特に名古屋大学で大きく進歩している。上負荷面と下負荷面が現れる unconventional plasticity に基づいた議論であるが、その説明は、**第3章**で行う。なお、筆者は地震学者から「弾塑性」の言葉を聞くことは、これまで15年の間、殆どなかった。それは何故なのか？理由は筆者にもよく分からないが、これに関連して、あらためて**第4章**で地震学と地盤力学のそれぞれの役割を考える。

(2) プレート境界地震の「周期性」、再論

M8クラスのプレート境界地震は「**比較的周期的に**」起こる物理的な背景を考えるためには、再び「固着と急速なずれ（地震）」の二つの状態に戻る必要がある。プレート境界の滑りこみの運動の速度は、数千年～数万年の間ではほとんど一定と考えられるとしよう。フィリピン海プレートは相模トラフから陸側プレートの下を北北西の方向に年間約3 cmの速さで潜り込んでいる。そうすると大正関東地震のずれが例えば6 mであったとすると、プレート運動による200年分の変形が、固着面では200年間ほとんど変形せず歪エネルギーとして蓄えられていて、それが一挙に解放されたことになる。固着面が一瞬にして震源域（断層面）になったわけである。そうすると、もし①巨大地震が発生する場所と②プレート運動の速度の両者が一定で、さらにもし③一回の地震での断層面のずれ量も一定とすると、**巨大地震の発生間隔も一定になる**。これは「固有地震仮説」と呼ばれるが、もしが3回も続くのだからやはり仮説である。固有の拡がりとずれの量をもった破壊域が存在して、それが固有の巨大地震を発生させるという仮説である。

先に2.1節③のあとで、相模トラフでのM8クラスのプレート境界地震の平均発生間隔が約320年と計算されることを書いたが、歴史地震学と地形・地質学的な調査も踏まえて、さらに過去の全9回の超巨大地震にまで遡った研究では、この平均発生間隔は約390

年と言われている。320 年とあまり大きな差はない。

(3) アスペリティ

「固着と滑り」のモデルの話は、さらにもう少し続ける必要がある。プレート境界が強く固着しているのは、プレートの沈み込みの場所から深さ 30~50 km 程度の改定の浅い所であって、それより深くなると温度が非常に高くなってきて、固着せずにスルスルと一定の速さで潜り込んでいる。しかし浅い所ではあっても、境界の全域が固着しているのではなく、図 2.6 の漫画でも示したように、境界の一部が固着しているだけである。定常的にゆっくりした滑りが発生している領域に囲まれて固着域があると、地震時に大きくずれることになる。この固着域はアスペリティと呼ばれる。昔は、**巨大地震は大きなアスペリティが破壊され、小さな地震は小さなアスペリティが破壊されて起こると考えられていた**。ところが 2011 年東北地方太平洋沖地震（3.11 地震）では、青森県沖から茨城県沖までの大小多くのアスペリティが 2 分間ほどで、ほとんど同時に破壊されたため

(multiple shock)、昔の議論は単純すぎて、最新の地震学では複数のアスペリティ間の相互作用など、見直しが急速に進んでいるらしい。筆者にその説明は全く出来ないが、大正関東地震で「本震は三つ子の地震だった」と述べたのもこれに当たる。

しかし先に(2)で述べたように、相模トラフには 200 年分もの歪エネルギーを蓄えられるだけの大きな「強度」を持つ固着域があったことは、殆ど事実であろう。しかし**どのようにしてこの強度が保たれるのか？また地震後再び強度が回復するのはどうしてか？**これらは地震学では、まださっぱり分かっていない事柄だと筆者は思っている。これらは地盤力学でも、格好の研究課題になっていいはずのものではないのか？これを書くために、**2.3 節は (3) にまで及んだ。**

2.4 海洋プレート内部の地震と内陸地殻内の浅い地震のメカニズム

(1) 海洋プレート内地震（スラブ内地震）

結論を先に述べると、陸側プレートの下に潜り込む、深さ数十kmの海洋プレートの内部で起こる、いわゆるスラブ内地震のメカニズムは、まだほとんど何も分かっていない。いわゆる前兆現象も全く何も知られていない。

前節で、プレート境界では、固着によって陸側プレートも海洋プレートとともに沈み込んでゆくが、こうして陸側プレートの変形が蓄積してゆくと陸側プレートに歪エネルギーが蓄えられて、変形があるレベルに達すると陸側プレートが急激に跳ね返るようにして、地震（と津波）が発生すると述べた。しかし、歪エネルギーの蓄積はもちろん海洋プレートの内部にも生じるであろう。このとき、プレート境界地震の発生だけで海洋プレート内部に蓄えられていた歪エネルギーのすべてが解放されるとは考えにくく、歪エネルギーの一部は海洋プレート内部に未だ蓄えられている可能性がある。もちろんそれはあるか

もしれない。しかし「それがスラブ内地震を引き起こすのだ」と言われても、これだけでは筆者はまだ何か釈然としない。

図 2.4 のすぐ後に「地震の発生の理解のためには、地下深部のプレート岩石に働く力の分布と、**岩石強度の分布**を知ることが大事」と書いた。また 2.3③では「相模トラフには 200 年分もの歪エネルギーを蓄えられるだけの大きな「強度」を持つ固着域があった」とも述べた。このような考えによれば、スラブ内での地震発生を考える場合には、岩石強度の大きさがスラブ内で不均一に空間的分布する（強度がバラつく）とき、もちろん強度が相対的に低い/弱い部分で地震が発生すると考えるのは素直である。しかし何故そこで強度が弱かったのか？海洋プレート内の含水鉱物が、プレートの沈み込みによる高温・高圧下で脱水反応を起こし、脱水された流体の移動によってある場所で破壊の条件が整うという説があると聞く。またその場所で強度が低いのは、そもそもプレートの生まれつきのバラツキだという説も有力であるらしい。

スラブ内地震は、スラブ内でのひずみエネルギーの蓄積がプレート境界地震によってかく乱され、しかもスラブ内部での強度の分布も不規則と聞くと、スラブ内地震は発生場所も発生間隔も、その地震の大きさも、地震学者にとっては「まるで不規則的（ランダム）に見えてしまう」という今の地震学の結論に、筆者も知らず知らず納得してしまう。

(2) 内陸地殻内地震

つぎに内陸地殻内の浅い地震に触れる。これも結論を先に述べると、**(1)**のスラブ内地震の冒頭で書いたことと、殆ど何も変わらない。

1995 年の**兵庫県南部地震 (M7.3)** は活断層で起きた地震として一躍有名になった。活断層や地質構造線で発生する内陸の浅い地震は、たとえ（首都直下の検討対象地震のように）M7 クラスにかぎっても、日本の各地で発生していて、歴史的に見たときその数も少ないとは言えない。しかしあらためて兵庫県南部地震は、日本列島には多くの活断層があり、M7 クラスの地震は日本のどこにでも発生する可能性があることを教えた。

阪神淡路大震災を契機として、地震防災関連の法改正が相次ぎ、地震調査研究についても、それまで各機関、研究所、大学でバラバラに行われていたものが、地震調査研究推進本部（地震本部、本部長文部科学大臣）のもと国として一元的に進められることになった。これによって、地震観測網の整備が全国一律に急速に進み、地震関連研究費も大きく増大した。地震観測網の整備について言えば、地表での地震被害の様相をすぐに伝える地表強震計網の整備（K net）以外に、起こった地震のメカニズムを知るのに欠かせない、地中深くに埋設された高感度の広帯域地震観測網（F net）の整備が同時に進められたことも特記される。

さて、地震を引き起こす力はこれまで、海洋プレートの沈み込みによって生じる力ばかりを述べてきたが、これ以外に、陸側のプレートにはプレート内部に蓄積されてきた陸側プレートの中の相対変位（歪み）によって生まれる力も考えられる。大陸プレートであ

るユーラシアプレートと北米プレートの上に載っている日本列島は、プレートの動きに追従して、約 1500 万年前アジア大陸からの分離・分裂して以降も長く動き続けて、現在に至っている。その中で例えば糸魚川-静岡構造線は、この分離・分裂時の大きな変形の中で生まれたとされて、周囲に比べ相対的に強度が低いと考えられている、言わば「古傷」である。内陸部で地震があちこちで繰り返し発生するのは陸側の地殻プレートが今も変形中だからであるが、繰り返し活動したため地震時のずれが地表でも観察されるのが活断層である。これも「古傷」である。活断層周辺もさきの構造線と同じく、相対的に強度が低い。上の（１）で「もちろん強度が相対的に低い部分で地震が発生すると考えるのは素直である」と述べたが、だから①内陸プレート内に内陸プレートの運動・変形と、それによる相対変位（歪み）によって力が働いているとき、そして②歪の蓄積に伴って応力が増加・集中し古傷部分（断層周辺）で強度を超えると地震が起こり、歪と応力が解放される。この歪の増加→応力集中→地震による応力と歪みの解放のサイクルは、古傷部分の強度の回復を待って次のサイクルに入り、こうして地震が繰り返し起こることになる。

しかし、上記①の力がどのような大きさでどの方向に働いているかははっきり分からないときに、②「古傷」の場所も、③そこでの（現在回復中にある）強度の大きさの分布もよく分からないとすると、内陸地殻内の浅い地震が、いつ、どこで、どの大きさで起こるかなどさっぱり分からないことは、スラブ内地震と何も変わるところがないのである。発生間隔の物理的議論が殆ど不可能なことはこうして理解できる。

繰り返し発生しその痕跡が地表に現れているのだから、場所は分かるという変動地形学からの意見はあるであろう。しかしそれは、今は措く。その代り、活断層の「地域評価」、すなわち特定の活断層に注目しその活動履歴を調べることはもう改めて（止めて）、活断層群の地域ごとの評価が始まっていることを記しておく。

2.5 地震発生間隔の確率論的な予測

2.3～2.4 節で説明したように、M8 クラスのプレート境界地震は比較的周期的に起こるのに対し、M7 クラスのスラブ内地震や内陸の浅い地震は、規則性について殆どわかっていない、従って不規則（ランダム）に起こると仮定せざるを得ない。このような時には、上の**比較的**とか**不規則的**とかの言葉に頼って、力学的な議論とはたとえ暫くは無縁になっても、別途に**確率論的なモデル**を作って、それに過去の出来るだけ多くの地震発生記録の**データ（確率変数の実現値）**を当てはめ、**数理統計学**に則って、次の地震の発生時期を確率的に推定する以外に、もう方法はない。これが地震発生の確率予測と呼ばれているものである。ここでは、「街の地震屋」さんらによるほかの様々な方法には触れない。

文科省の地震本部では、比較的周期的に発生する確率モデルには「BPT モデル」を、一方まったく不規則的に起こる確率モデルには「ポアソン過程モデル」を採用している。BPT モデルは日本語では、「動く歩道（に等間隔で並んでいた人）の酔歩モデル」と言わ

れたりする。酔っぱらいが、それもふらふらと歩いたりしているから、等間隔はまるで当てにならなくなるのである。

さてここで、首都直下地震を対象に、どのような「データ」があるかを図 2.9 に示した。

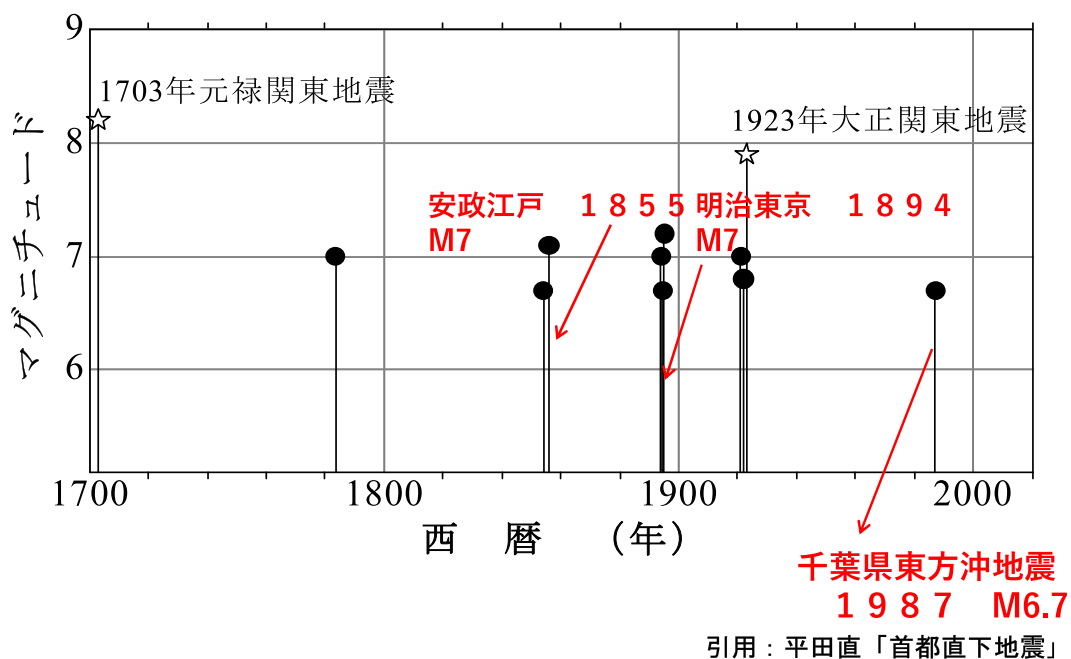


図 2.9 首都直下地震の確率予測で用いられたデータ

白抜き星印のデータには「BPT モデル」が当てはめられ、●印にはポアソン過程が当てはめられる。白抜き星印が二つではモデルが決まらないから、これに 1293 年の永仁地震（これでデータは 3 個）と（少し怪しげと言われている）1495 年の明応鎌倉地震（データは 4 個）が付け加えられる。

2014 年時での当てはめの結果を述べると、ポアソン過程の当てはめからは

「M7 クラスが今後 30 年以内に発生する確率は約 30%」

が得られ、BPT モデルの当てはめからは

「M8 クラスが今後 30 年以内に発生する確率は約 2%（データが 3 個の場合）」

ないし

「ほぼ 0%（データが 4 個の場合）」

が得られている。

こうして以下の 2 点はもう自明である。

- ① 確率論的な地震発生の子測結果は、上の 2% と 0% のように、まったくのデータ依存子測である。つぎに地震が来るとすべてやり直しになる。
- ② 逆に、同じデータを使っても、確率モデルの選択次第で、結果は大きく異なってくる

る。例えば M8 クラス地震の地震発生データの、ポアソン確率過程を当てはめると、「30 年以内に **9%**（データ 3 個）ないし **10%**（データ 4 個）」になってしまう。

プレート境界地震とそれ以外の地震の「**違い**」([2.3 節](#))を区別してきた地震学は、こうして功績は大きい。いつ、どこを震源にして、どのような M_w の地震が起こるか、この「**地震予知**」がたとえ今は殆ど不可能だとしても、このままもし何も出来なければ、将来地震が起これば起こるほど、ポアソン（確率）過程のモデルだけが生き残ってしまうかもしれない。

さて、以上の確率予測で一般によく知られているのは、もちろん「東京圏及びその周辺の地域で、大規模な地震が、今後 30 年以内に起こる確率は約 70%」である。もしこれを今後 100 年以内にしてしまうとほぼ 100%になるし、1 年以内ではほぼ 0%になって、これではもう誰も予測とは思わなくなる。人生 80 年時代に 30 年はやはり妥当なのだろう。地震本部のホームページには 10 年以内から 50 年以内まで 10 年刻みに確率予測が公表されている。