

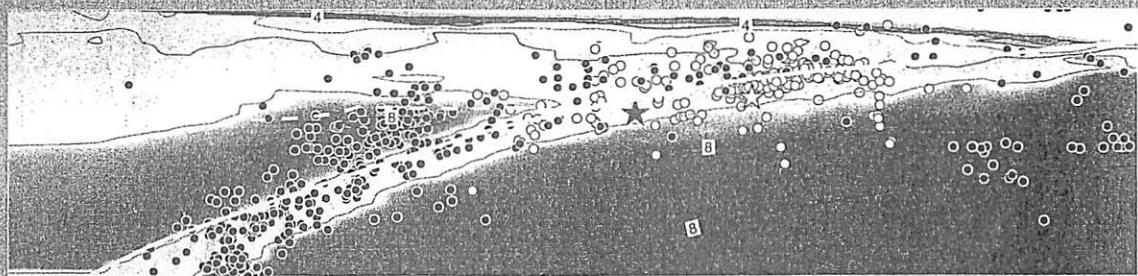
創刊 80 年

# 科学

Science Journal

KAGAKU

Vol.81 No.10 Oct. 2011



2011.10 - 3

香川県立図書館

356

特集

# 東北地方太平洋沖地震の科学

予測されたにもかかわらず、  
被害想定から外された巨大津波  
津波被害から最大級への対応を考える  
南極剥き出しの地球  
津波被害から最大級への対応を考える  
震度8  
震度7  
震度6  
震度5  
震度4  
震度3  
震度2  
震度1

断層モデルとスーパーサイクル

佐竹健治

われわれはどこで間違えたのか?

松澤暢

津波の大きさと被害 高橋智幸

前震・本震・余震の分布

日野亮太・鈴木健介・伊藤喜云・金田義行

余震活動 小沢慎三郎

地震発生場の変化 齋田晋次

揺れによる被害と震度 境有紀

月や太陽の引力が地震の引き金に

田中佐千子

揺れの成長と強震モニタ

青井真・中内洋介・刃川卓・鈴木亘

ひずみの収支の示唆 宮澤理穂

長期的歪み蓄積過程と超巨大地震

池田安隆・岡田真介

津波の水理堆積学 真浦幸治

噴火誘発 賴井敬司

超巨大地震 百本宗元

超高層大気は知っていたか 吉置宾介

# なぜ東北日本沈み込み帯で M9の地震が発生したのか？

—われわれはどこで間違えたのか？

松澤暢

まつざわ とおる  
東北大学大学院理学研究科(地震学)

東北地方東方沖でのマグニチュード(M)9の地震の発生により、多くの地震学者の「常識」や先入観が間違っていたことが明らかになった。われわれがどこで間違えたのかを明らかにしない限り、将来また同じ間違いを犯してしまう。M9の地震が生じた原因を探り、どこで間違えたのか、現時点で考えられることを整理する。

\* \*

2011年3月11日のM9.0の東北地方太平洋沖地震が引き起こした地震動と津波による東日本大震災では、2万人以上の方々が亡くなったり行方不明となっている。さらに、この地震と津波は原発事故という深刻な事態をも引き起こした。地震から半年近く経過した8月末の時点でも、全国で8万人以上の方々が避難を余儀なくされたままである<sup>1</sup>。このような甚大な被害をもたらしたM9の地震の発生の可能性を事前に予見できなかったことについて、大地震のポテンシャル評価を推進してきた地震学者の一人として、責任を痛感している。

このような悲劇を繰り返さないためには、M9の地震がなぜ想定できなかつたのかを整理し、さらにこのM9の地震はどのようなものだったのかを明らかにして、それをもとに、なぜわれわれが間違えたのかを分析する必要がある。このような作業はまだ途中であるが、これまでに考えてきたことを、ここで整理して提示したい。

Why could the M9 earthquake occur in the northeastern Japan subduction zone? Why did we believe it would not occur there?  
Toru MATSUZAWA

ただし、M9の地震を生じさせるモデルを説明するためには、摩擦構成則とアスペリティ・モデルについて理解していただく必要があるため、最初にこの二つを簡単に解説する。なお、以下で「応力」という用語が出てくるが、これは大雑把には「弾性体内的単位面積あたりに働く力」のことだと思ってほしい。

## 速度-状態依存摩擦構成則と間隙圧

古典的摩擦論では、摩擦係数として静止摩擦係数と動摩擦係数の二つがあり、二つの物体の接触面がすべりはじめると、摩擦係数は静止摩擦係数から動摩擦係数に瞬時に変化し、動摩擦係数はすべり速度には依存しない。一方、さまざまな実験にもとづき、1970年代末頃から、摩擦係数はすべり速度と過去のすべり履歴に依存するとする「速度-状態依存摩擦構成則」が構築されている<sup>2</sup>。

この構成則では摩擦係数はすべり速度に依存するものの、新しい速度に見合った摩擦係数に瞬時に変化するのではなく、すべりながら徐々に新しい摩擦係数に変化することが知られている。この、新しい摩擦係数まで変化するのに必要なすべり量のことを「特徴的すべり量」と呼んでいる。

また、接触面の性質により、すべり速度が大きくなつたときに摩擦力が大きくなる場合と小さくなる場合があることがわかっている。たとえば境界面にグリースが塗られていると、この二つの面をゆっくりとすべらせることはできるが、高速にすべらそうとすると強い抵抗が働く。このように

すべり速度の増加につれて摩擦抵抗が大きくなる場合を「すべり速度強化」と呼ぶ。一方、アイススケートがすべることによって氷がとけて抵抗力が下がるように、すべり速度の増加につれて摩擦抵抗が逆に小さくなる場合を「すべり速度弱化」と呼ぶ。

すべり速度強化域では、すべり速度が大きくなると摩擦抵抗力が大きくなつてすべりにくくなり、逆にすべり速度が小さくなると摩擦抵抗が小さくなつてすべりやすくなる。このように、すべり速度強化域ではネガティブ・フィードバックがかかり、あるすべり速度のところで、抵抗力と駆動力が釣り合つて、一定速度ですべることになる。このような一定速度でのすべりを「安定すべり」と呼ぶ。

一方、すべり速度弱化域では、一度すべりはじめると摩擦抵抗が下がるので、すべりはさらに加速することになる。逆に、すべりが停止しはじめると摩擦抵抗が大きくなり、ますます停止しやすくなる。このようにすべり速度弱化域ではポジティブ・フィードバックがかかり、「不安定すべり」と呼ばれる、停止とすべりが繰り返される状況が生じる。

次に、机の上に置かれたブロックにバネをつないで、バネの端を引っ張る場合を考える。ブロックと机の間がすべり速度弱化特性をもつている場合、バネがある程度伸びたところで摩擦力よりもバネが引っ張る力が上回って、ブロックは加速しはじめる。速度弱化特性により、すべりはじめたブロックと机の間の摩擦力がさらに下がり、ブロックはどんどん加速していくはずであるが、前に述べたとおり、特徴的すべり量分だけすべらないと、摩擦力が下がらないことに注意が必要である。もし、バネ定数がきわめて大きい場合には、特徴的すべり量分だけすべるうちにバネは縮み切ってしまい、摩擦抵抗が下がった頃には加速したくても力がそれ以上からないことになる。すなわち、速度增加に伴う摩擦抵抗力の減少とバネ定数の比にくらべて特徴的すべり量が大きい場合には、不安定すべりを起こしにくいのである。このような

領域を「条件付き安定域」と呼ぶ。「条件付き」となっているのは、「外部からの急激な力変化といった擾乱がない」という条件のもとで安定であるためである。このような系では、ゆっくりと力が加えられても、前述の通り、少しすべるだけが強度を下回るために不安定すべりは起こしにくい。しかし、同じ系に、外部から大きな力が急激に加えられて、特徴的すべり量分だけすべってもまだ外力が十分に大きければ、もともとが速度弱化域であるためにどんどん加速されて不安定すべりを生じてしまう。

なお、上記の話はすべて「摩擦係数」が、すべり速度の変化に応じてどのように変化するのか、という話であった。実際の摩擦力は、この摩擦係数に、断層を押さえつけている力を掛け算することにより得られる。もし、断層面間に流体が入ってきて、その圧力(間隙圧)が大きくなると、断層を押さえつける力が実質的に弱くなったのと等価になり、結果として摩擦力を低下させてしまう。後で述べるように、この効果も実際は無視できないと考えられる。

### アスペリティ・モデル

プレート境界で起こる地震について詳しく調べていくと、同じ場所が時間をおいて繰り返しせべて地震を生じている領域があることが明らかになった<sup>3</sup>。特に、カリフォルニア<sup>4</sup>や東北地方<sup>5</sup>では、小さな地震が同じ場所で繰り返し発生している例が多数発見され、これらの小地震は「小繰り返し地震(small repeating earthquakes)」と呼ばれている。このように地震時に大きなすべりを生じる場所はあらかじめ決まっているという考え方とは、1980年頃に提唱されていて、「アスペリティ・モデル」と呼ばれていた<sup>6</sup>。

「アスペリティ」とそのまわりの「非アスペリティ」領域の定義は時代とともに変化しているが、上記のすべり速度-状態依存摩擦構成則の解釈のもとでは、「アスペリティ」とは、非常に速度弱化の程度の大きな領域、つまりすべりの不安定性

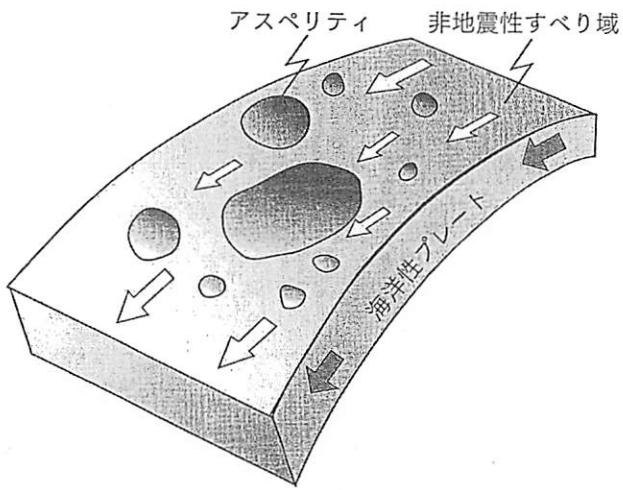


図1—アスペリティモデルの概念図

沈み込む海洋性プレートと上盤の大陸プレートの間には、普段は固着していて地震時に大きくすべる領域(アスペリティ)と、普段からゆっくりすべっている領域(非地震性すべり域)が存在している。

の大きな領域に相当する。アスペリティは普段は強く固着しているが、地震時には大きなすべりを示す。一方、アスペリティ以外の領域は、速度強化域または条件付き安定域ということになり、基本的には非地震性すべりが卓越する(図1)。

このアスペリティ・モデルが正しければ、過去に大きな地震を生じた場所で、将来、いつかはまた似たような地震が生じることになるため、過去の活動履歴にもとづく、地震の長期予測に、アスペリティ・モデルは理論的根拠を与えることになった。実際、2003年の十勝沖地震については、過去の活動履歴から予測がなされて、1952年の地震とほぼ同じ場所に同じ規模の地震が生じたことにより、アスペリティ・モデルは基本的には正しいと考えられるようになった。

ただし、北海道沖から宮城県沖にかけての領域は、このアスペリティ・モデルでおおむね説明できるものの、福島県沖については、1938年の塩谷崎沖の一連の地震<sup>8</sup>以外には、近年、大きな地震が発生しておらず、現状のアスペリティ・モデルのままでは説明ができないため、なんらかの修正が必要と考えられていた。たとえば、間隙圧が時間変化することによって強度が時間的に変動し、そのためにごくまれにM7~M8の地震が生じるのではないか、といった仮説を筆者は今回のM9

の地震が発生する前には考えていた。

### なぜ、東北地方でM9が発生するとは思わなかったのか？

さて、いよいよ、M9の地震について検討してみる。

1950年代から1960年代にかけて発生したM9の巨大地震は、若いプレートの沈み込み帶で発生している例が多かったため、プレートの沈み込み方と地震の起り方に相関があると考えた「比較沈み込み学」<sup>9</sup>が展開された。この比較沈み込み学とM9の巨大地震との関係は島崎(2011)<sup>10</sup>で解説されているとおりであり、若いプレートが沈み込めば浮力が働いて、上盤側である陸のプレートとの固着が強くなつて大きな地震を生じやすいが、古いプレートは冷たくて重いので沈み込みやすく、上盤側と強くは固着できないと考えられていた。東北地方南部のように1億年以上もの古いプレートが沈み込んでいる場所で、M9の地震が発生している例は過去に知られていなかったため、この領域は固着が弱くて、M9の地震はおろか、M8の地震すらめったに起こせないと考えられていた。

一方、1990年代末から2000年代初頭にかけてのGPSデータの解析から、東北地方中央部から南部にかけての領域では、陸地が毎年2cm程度短縮しており、これがすべてプレート境界の固着状況に原因があると考えて解析すると、宮城県沖から福島県沖にかけての領域が、ほぼ100%固着しているという結果が得られていた<sup>11</sup>。しかし、このような固着が長期にわたって続くのであれば、陸地は100年間に2mも短縮するはずであるが、国土地理院の約100年の測地測量の結果では、東北地方内陸は、東西短縮というよりもニュートラルかむしろ伸張が卓越する結果が得られていた<sup>12</sup>。このことは、仮に一時的にプレート境界の固着が強まって歪エネルギーを蓄えても、それは100年以内の再来間隔で生じるM7~M8弱の地震で解消されることを示唆していた。

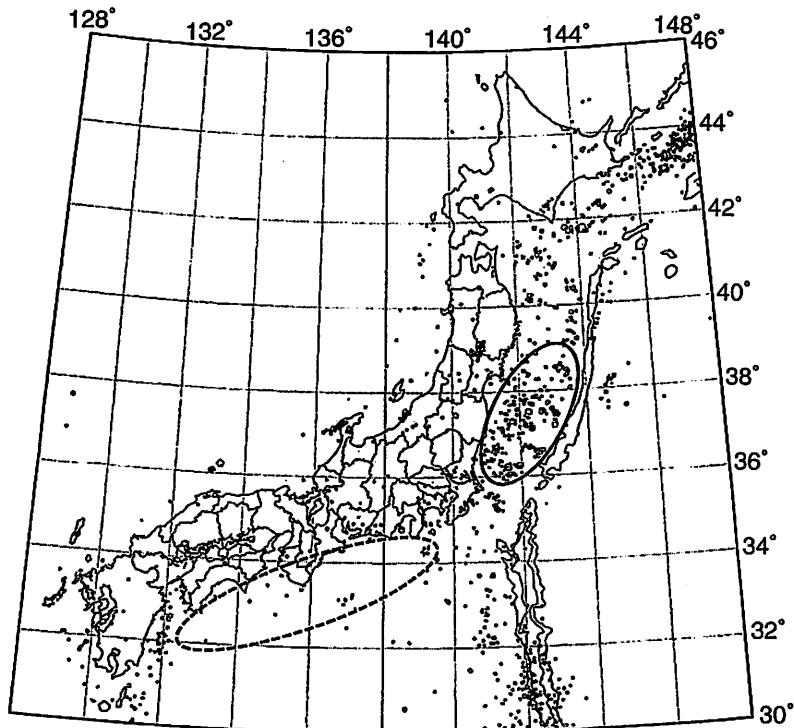


図2—日本周辺の普段の地震活動

気象庁一元化震源カタログによる2006年から2010年の期間に深さ60km以浅に発生したM4以上の地震の震央分布。実線の楕円は今回のM9の地震の震源域、破線の楕円は東海・東南海・南海の巨大地震の発生域の概略を表す。今回のM9の地震の震源域は普段から地震活動が活発だが、巨大地震が繰り返し発生してきた東海から南海にかけての領域では、普段はほとんど地震活動がない。

また、宮城県沖から福島県沖にかけては、普段の地震活動が、国内で最も高い領域の一つであり(図2)、このような場所は固着が弱いために、小さな地震を頻繁に発生させて、歪を解消させていと考えられた。実際、プレート境界がゆっくりとすべっていることを示す小繰り返し地震(同じ場所で繰り返し発生する小さな地震)がこの領域では活発に生じていた(図3)。さらに、この領域で発生するM6以上の地震は大きな余効すべり(地震のあとに生じるゆっくりとしたすべり)を伴うことが多く、このことも、この領域の固着がそれほど大きくないことを示唆していた。

前述の1990年代末から2000年代初頭のGPSデータに注目して、「この地域では大きなひずみが蓄積されていて、これらがやがては巨大地震として解消される」という可能性も指摘はされていた<sup>13</sup>が、わずか数年のGPSデータのみで結論を下すことはできなかった。実際、この期間に福島県沖の地震活動はきわめて低調になっており、そ

の後、地震活動がもとに戻った2000年代後半以降のGPSデータからは、宮城県沖から福島県沖の固着状況はかなり緩んでいるという結果が得られていた<sup>14</sup>。

### 固着が弱いように見える領域でなぜM9の地震を起こせたのか?

以上、見てきたように、1990年代末～2000年代初頭のGPSデータから推定されていた、100%近い固着というのは、その時期にたまたま生じた揺らぎにすぎず、普段はそれほど強い固着を生じていなかった可能性がある。それではなぜ、そのような場所で、M9の地震が起こせたのであろうか? その答のヒントは、今回の地震の発生を説明するモデルの中にあるはずである。

今回の地震の特徴は、本特集号の佐竹氏による解説にあるように、海溝近くで大きなすべりを生じたことにある。このようなM9の地震がなぜ生じたのかについては、下記に示すようないくつかの学説が出されている。なお、以下のモデルの名称は、わかりやすくするために筆者が勝手につけたものであり、モデルの提唱者がつけた名前ではないことに注意されたい。

#### (1) マスター・アスペリティ・モデル

Kato & Yoshida(2011)<sup>15</sup>は、今回の地震が局所的に50m近い大きなすべりを生じさせたことを考慮して、そこにきわめて強いアスペリティ(強く固着している領域)が存在していると考えた。このアスペリティは非常に強くて全体を支えてしまうために、周りの固着の弱いところでも、普段はあまりすべることができない。数百年に一度、このアスペリティが壊れる時には、このアスペリティはもちろん、その周囲もそれなりに大きくすべるので、もともとのアスペリティよりも広い領域を震源域

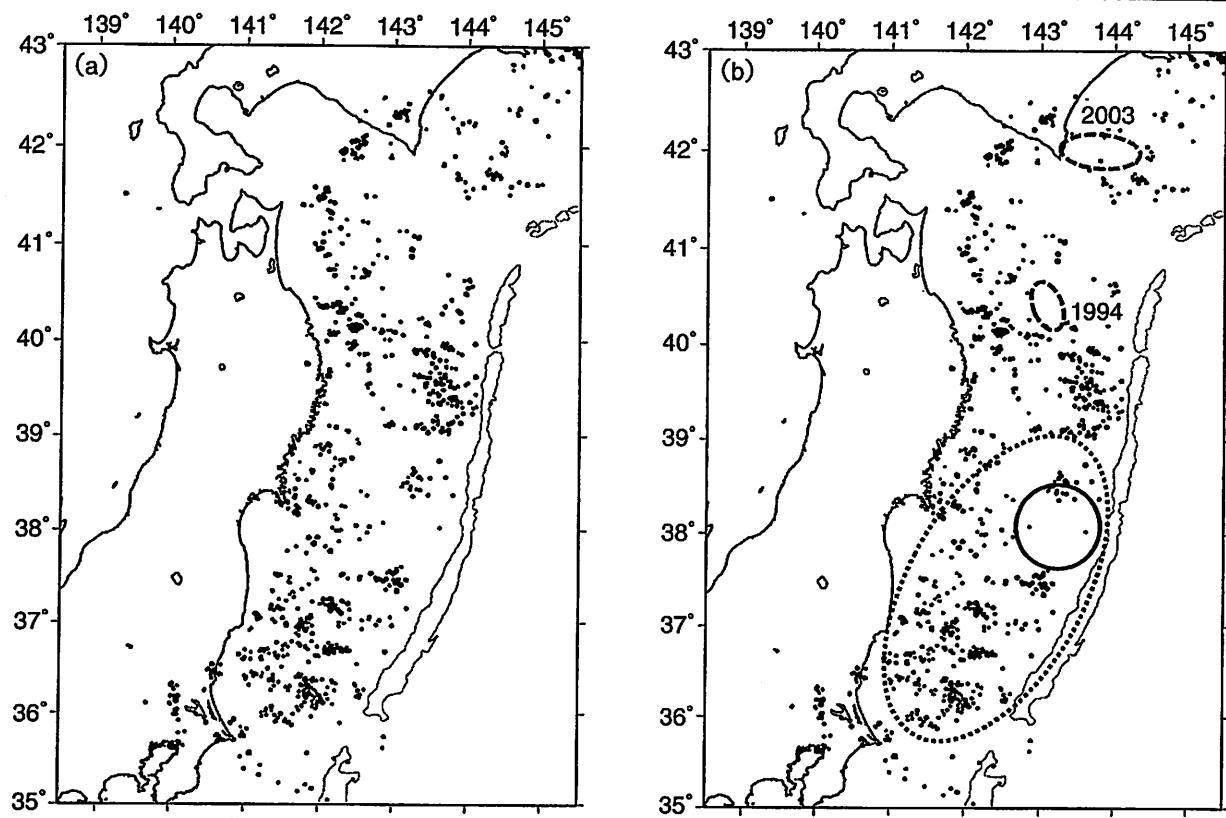


図3一小繰り返し地震の震央分布<sup>22</sup>

(a)1984年から2011年4月8日のデータにもとづく、小繰り返し地震グループの分布

(b)今回の地震の震源域(点線楕円)と主破壊域(実線丸)の概略

図(a)と同じ小繰り返し地震グループの分布を重ねて示す。1994年の三陸はるか沖地震<sup>3</sup>と2003年十勝沖地震<sup>7</sup>の主破壊域の概略を破線楕円で表す。

とするM9の地震を生じさせることになる。このモデルでは、このアスペリティ以外では、普段は弱いながらもそれなりの固着を生じているよう見えることになる。

## (2) 広域の条件付き安定領域モデル(階層アスペリティ・モデル)

Hori & Miyazaki(2011)<sup>16</sup>は、今回の大地震が起きた領域は基本的に速度弱化域ではあるものの、条件付き安定領域が広域に広がっていて、その中にところどころ小さな不安定領域が存在するモデルを提出している。この場合、短い時間スケールでは小さな不安定領域がアスペリティとして振る舞い、長い時間スケールでは、巨大な条件付き安定領域がアスペリティとして振る舞うという階層アスペリティが実現されることになる。このモデルであれば、M6やM7の地震の余効すべり域が広域にわたることが説明でき、さらに、

M9の地震の直前は、不安定性が強まっているがために、普段よりも余効すべり域が海溝近くまで達する広域にわたることが彼らの数値シミュレーションでは示されている。つまり、2000年代末に福島県沖で海溝近くまで固着が弱まったように見えたのは、きたるべきM9の地震の発生のための前駆的症状であった可能性がある。

## (3) 摩擦熱による間隙圧上昇(Thermal Pressurization)モデル

Mitsui & Iio(2011)<sup>17</sup>は、今回の地震の主破壊域でのすべりがきわめて大きかった理由を説明するために、地震時のすべりの摩擦熱によって断層帯に存在する水が膨張して間隙圧を上昇させてしまう Thermal Pressurization と呼ばれるメカニズムによって、通常よりも速度弱化の程度が大きかつた可能性を指摘している。

#### (4) 動的過剰すべり(Dynamic Overshoot)モデル

Ide et al.(2011)<sup>18</sup>は、今回の地震では上盤側が柔らかく、非常に浅部で破壊が進展して海溝まで突き抜けたといった条件により、断層がすべりすぎて剪断応力が摩擦応力よりも下回るレベルまで低下してしまう、Dynamic Overshootと呼ばれる現象が生じて大きなすべりを生じたと解釈した。

以上の4つのモデルは対立仮説というわけではなく、それらのすべてが生じていたとしても大きな矛盾は生じないことに注意されたい。実際、筆者は、これらが多かれ少なかれ起こって、今回のようなM9という巨大な地震が生じたのではないかと考えている。

Hasegawa et al.(2011)<sup>19</sup>は、多数の余震を解析することにより、今回のM9の地震の前にプレート境界にかかっていた剪断応力はそれほど大きくはなく、今回の地震でそのほとんどを解放したと解釈している。実際、今回の地震の余震は正断層型の地震がきわめて多く<sup>20</sup>、破壊域においては、プレート境界にはほとんど剪断応力が残っていないように見える。

飯尾(2011)<sup>21</sup>は、今回の地震のように断層面が巨大であれば、大きなすべり欠損が生じて歪エネルギーを蓄積しても、断層面での剪断応力はそれほど大きくならず、逆に言えば、断層面積が大きければ、強度が小さくても地震時に大きなすべりが生じうることを示した。つまり、溜まっていた歪エネルギーを全部解放してM9の地震を起こす場合には、幅広いプレート境界であれば、その歪エネルギーを蓄積するためにそれほどの強度を必要としないのである。

以上を総合すると、次のような地震像が浮かび上がる。

今回の地震を生じたプレート境界では、条件付き安定領域が広く存在していて、その中にところどころ、不安定領域が存在し、宮城県沖の海溝近くには特に摩擦抵抗が大きくて巨大な不安定領域があった。条件付き安定領域は、時々ゆっくりとすべり、その中の小さな不安定領域で、小繰り返

し地震を含むプレート境界型地震を発生させていた<sup>22</sup>。このためにプレート境界の地震活動も活発に見えた。東北地方では、この領域の幅が約200kmときわめて広いために、数十mの地震すべりを生じるくらいに歪エネルギーを蓄積しても、断層面に働く剪断応力はそれほど大きくはならなかった。

このような状態に100年くらい前に達していて、最近の100年間に増加した分の歪エネルギーは、M7やM8弱程度の地震の発生で解消してしまったので、この間の内陸の歪は増加しなかったように見えた。このように普段は、地震が生じてもプレート境界の剪断応力がゼロになるくらいまでのすべりは生じなかったが、今回は海溝近くにあった巨大な不安定域がついに破壊し、摩擦熱による間隙圧上昇が生じたり、また海溝まですべりが突き抜けたことにより動的過剰すべりが起こりやすくなり、広域にわたって剪断応力がほぼゼロになるくらいに大きなすべりが生じたと考えられる。

#### われわれはどこで間違えたのか？

上記のような考え方が正しければ、普段も地震活動が活発で、M6程度の地震で大きな余効すべりを生じるような東北地方南部の東方沖でM9が生じたことや、最近100年の測地測量のデータで内陸に歪が蓄積していなかったように見える理由も説明できる。その場合、われわれが犯した大きな過ちは、(1)プレート境界の強度が弱いように見えたことからM9の地震は起こせないものと判断したこと、(2)100年の測地測量のデータからプレート境界で歪エネルギーは蓄積されていないと判断したこと、(3)海溝近くで大きな不安定領域が存在するとは考えなかつたこと、が挙げられる。

このうち(3)については、10年前まではその検証すら不可能であったが、最近、海底地殻変動観測がようやく軌道に乗ってきたので、今から10年後であつたら、海溝近くでも固着域があること

に気が付いた可能性があり、その意味でも残念でならない。アスペリティ・モデルが正しければ、大きな地震の主破壊域と小繰り返し地震の分布は基本的には相補的な関係になるはずで、実際、図3に示すように、これまでの大きな地震の主破壊域(破線楕円)は、小繰り返し地震の少ないところで発生していた。今回の地震の主破壊域(実線丸)では、小繰り返し地震がやはり少ないところであったので、大きな地震の主破壊域となる可能性を検討したこともあるたが、海溝近くは非地震的にすべきでいるという思い込みがあったため、ここでは小繰り返し地震を起こせるような小さなアスペリティすらないと判断してしまっていたのである。

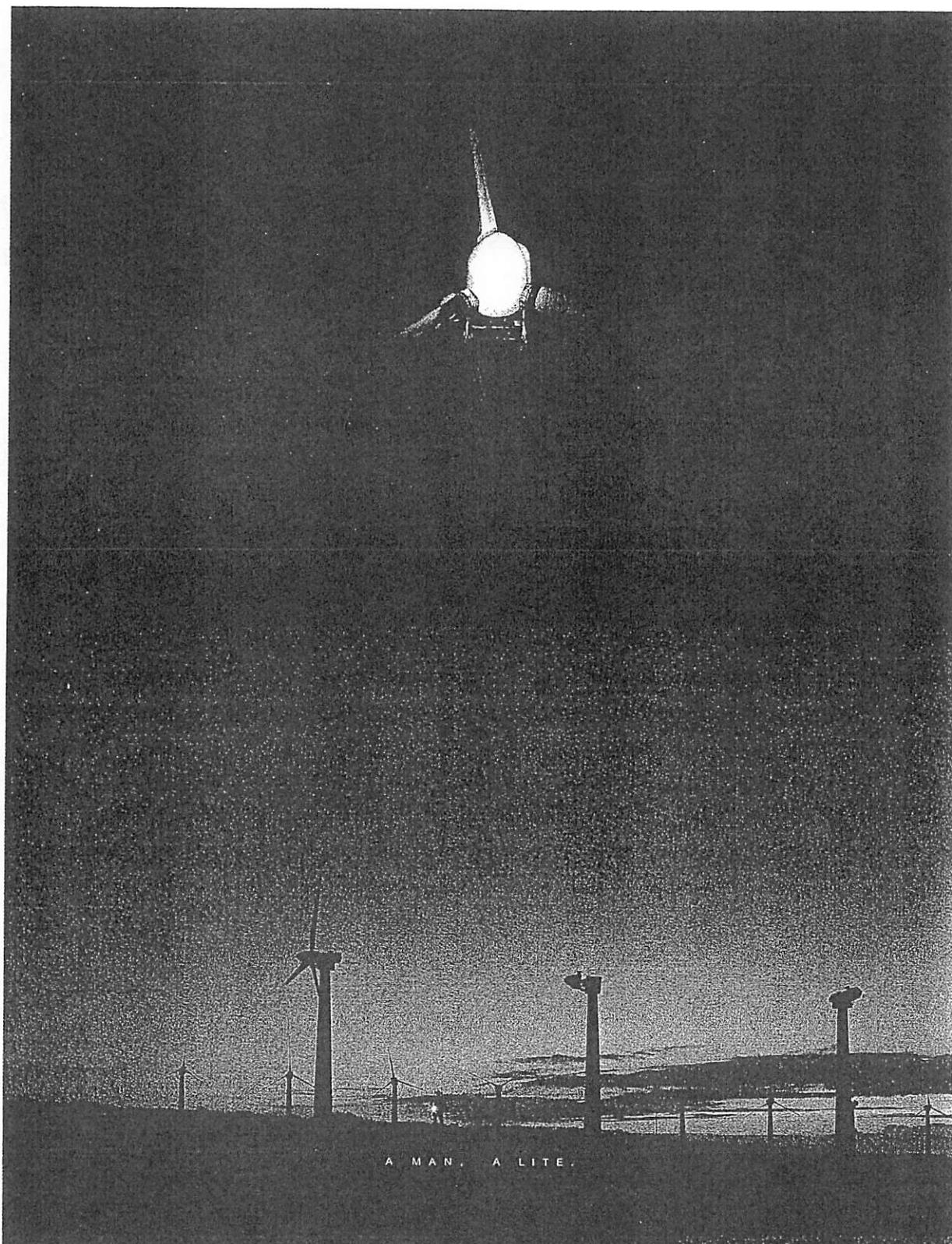
また、若いプレートの沈み込みで  $M_9$  の地震が多いように見えたのは、若いプレートは軽くて沈み込みにくくから浮力が働いて上盤との固着が強いからだと考えていたが、実は、若いプレートほど沈み込みにくいためにプレートの沈み込み角度が浅くなり、このためにプレート境界型地震が発生しうる領域の幅が広くなっていたことのほうが重要であった可能性がある。東北地方に沈み込む太平洋プレートは年齢のわりには低角(30度以内)で沈み込んでおり、またプレートが古くて冷たく、かつ沈み込み速度も速いために、プレート境界型地震発生域の下限も通常の沈み込み帶よりも深くて約 60 km にまで達している。さらに、GPS から見られる弱い固着まで含めると、深さ 100 km 近くまで緩やかに固着していることになり、結果として、「固着領域」の幅は 200 km 以上ときわめて広い。Ruff & Kanamori(1980)<sup>9</sup> が主張したように  $M_9$  の発生ポテンシャルと海洋プレートの年齢や沈み込み速度に相関があるとしても、それは固着の強さの違いが本質ではなくて、固着領域の幅の違いが本質であったのではないだろうか？

これらのことにもっと早く気がつくべきであった。いまさら悔やんでも悔やみきれないが、上記の考えも現段階では仮説に過ぎず、これに固執しすぎることは、また新たな間違いを生じる危険性もある。このような反省と自覚のもと、北海道

南東沖や南海トラフ沿いといった他の巨大地震発生域での最大規模の推定を間違えないように、今後さらに検討を進めていきたいと考えている。

## 文献

- 1—東日本大震災復興対策本部: <http://www.reconstruction.go.jp/>
- 2—J. H. Dietrich: *J. Geophys. Res.*, **84**, 2161(1979); A. Ruina: *J. Geophys. Res.*, **88**, 10359(1983)
- 3—Y. Yamanaka & M. Kikuchi: *J. Geophys. Res.*, **109**, doi:10.1029/2003JB002683(2004)
- 4—R. M. Nadeau et al.: *Science*, **267**, 503(1995)
- 5—T. Matsuzawa et al.: *Geophys. Res. Lett.*, **29**, doi:10.1029/2001GL014632(2002); T. Igarashi et al.: *J. Geophys. Res.*, **108**, doi:10.1029/2002JB001920(2003); N. Uchida et al.: *Geophys. Res. Lett.*, **30**, doi:10.1029/2003GL017452(2003)
- 6—T. Lay & H. Kanamori: *Phys. Earth Planet. Inter.*, **21**, 283(1980); T. Lay et al.: *Earthq. Pred. Res.*, **1**, 3(1982)
- 7—Y. Yamanaka & M. Kikuchi: *Earth Planets Space*, **55**, e21(2003)
- 8—K. Abe: *Tectonophysics*, **41**, 269(1977)
- 9—L. Ruff & H. Kanamori: *Phys. Earth Planet. Inter.*, **23**, 240(1980)
- 10—島崎邦彦: 科学, **81**, 397(2011)
- 11—Y. Suwa et al.: *J. Geophys. Res.*, **111**, doi:10.1029/2004JB003203(2006)
- 12—国土地理院: <http://www.gsi.go.jp/cais/HIZUMI-hizumi.html>; 橋本学: 地震, **43**, 13(1990); 石川典彦・橋本学: 地震, **52**, 299(1999); なお、明治の頃の測量の精度を考えると 100 年の伸張・短縮は議論できないという意見もあることに注意。
- 13—H. Kanamori et al.: *Earth Planets Space*, **58**, 1533(2006)
- 14—国土地理院: 第 190 回地震予知連絡会資料(2011)
- 15—N. Kato & S. Yoshida: *Geophys. Res. Lett.*, **38**, doi:10.1029/2011GL048565(2011)
- 16—T. Hori & S. Miyazaki: *Earth Planets Space*, in press, doi:10.5047/eps.2011.06.022(2011)
- 17—Y. Mitsui & Y. Iio: *Earth Planets Space*, in press, doi:10.5047/eps.2011.05.007(2011)
- 18—S. Ide et al.: *Science*, **332**, 1426, doi:10.1126/science.1207020(2011)
- 19—A. Hasegawa et al.: *Earth Planets Space*, in press, doi:10.5047/eps.2011.06.007(2011)
- 20—Y. Asano et al.: *Earth Planets Space*, in press, doi:10.5047/eps.2011.06.016(2011)
- 21—飯尾能久: 第 191 回地震予知連絡会資料(2011)
- 22—N. Uchida & T. Matsuzawa: *Earth Planets Space*, in press, doi:10.5047/eps.2011.07.006(2011)



MAGLITE<sup>®</sup> LED

香川県立図書館

直感的な光量調節メカニズム。新たなる5つの発光モード。◎認光自在「ノーマルモード」◎点滅照射「ストロボモード」◎強光、発灯「ナイトライトモード」  
Made in The U.S.A. The distinctive shapes, styles and overall appearances of all Mag® flashlights, and the circumferential inscriptions extending around the head of every flashlight signifies that it is an original Mag® family of flashlights. ©2010 MAG INSTRUMENT, INC. 2001 South Hellman Avenue P.O. Box 50800 Ontario, California 91761 U.S.A. Tel. 01(909)94



120400290-9

発行者 古川洋一 横集者 田中太郎

猪 所 〒101-0022 東京都千代田区一ツ橋255 岩波書店

電話 03(5510)3000 開店時間 03(5210)4111 [編集部] 03(5210)4113

[落丁補償店] 03(5210)4111 振替 001600026240

印刷業 落丁補償店 価格 1400円 (本体1330円) 税込1560

雑誌コード 02317-10



4910023171013  
01333