

西暦 869 年貞観津波の復元と東北地方太平洋沖地震の教訓

— 古地震研究の重要性と研究成果の社会への周知の課題 —

岡村 行信

歴史文書に記録されている西暦869年貞観地震を解明するため、地層に残された津波堆積物を詳細に調査し、津波の数値計算を組み合わせて津波規模を推定した。2011年東北地方太平洋沖地震は、その推定よりかなり大きかったが、津波堆積物が過去の巨大津波の証拠であり、巨大津波の警告であることを証明した。この貞観地震に関する研究成果は地震調査研究推進本部に提出され、2011年3月にはおよそ評価が終わっていたが、社会に周知する直前に地震が発生してしまった。このようなことを繰り返さないためにも、巨大地震に関する研究成果はできるだけ早く社会へ伝える必要がある。同時に、信頼できる研究を進めることも重要である。

キーワード：貞観地震、東北地方太平洋沖地震、津波堆積物、成果公表、減災

Reconstruction of the 869 Jogan tsunami and lessons of the 2011 Tohoku earthquake

– Significance of ancient earthquake studies and problems in announcing study results to society –

Yukinobu OKAMURA

To estimate the magnitude of the 869 Jogan tsunami (described in the historical record), we surveyed tsunami deposits and constructed a source-fault model by combining geological data with geophysical simulation. Although the 2011 Tohoku earthquake was much larger than the earthquake estimated by our Jogan model, there were similarities: the 2011 earthquake proved that deposits are evidence of tsunamis in the past, and reliable warnings of future giant tsunamis. Our study results on the Jogan tsunami were submitted to the Headquarters of Earthquake Research Promotion, and in March 2011, the evaluation was near completion. However, the earthquake occurred just before a giant tsunami warning could be issued. We need to announce our study results to society as quickly as possible so as not to repeat such a mistake. Moreover, we have to concurrently carry out reliable studies based on rigorous surveys.

Keywords: Jogan earthquake, Tohoku-oki earthquake, tsunami deposits, announcement, disaster mitigation

1 はじめに

地震研究の最終的な目標は地震災害の軽減につながることである。1995年阪神大震災以降、地震研究は防災・減災を意識した調査研究に力が入れられてきたが、その後も活断層として想定されていない場所で地震が発生し、2011年東北地方太平洋沖地震でも有効な警告を事前に出せなかった。特に我々のグループでは、数年前から西暦869年に仙台平野を襲った貞観地震に伴う津波の研究を行っていたが、その結果が地域の防災対策に反映される前にこのような大震災が発生してしまったことが、残念でならない。自然現象を予測することの難しさがあらためて浮き彫りにされたが、この震災によって、地球物理学に基づいた地震研究の弱点が明らかになり、対照的に産総研の地質学をベースとした過去の地震を明らかにする研究(古地震研究)が注目されたことも事実である。

この報告では、歴史学、地質学、地球物理学的研究を

統合して西暦869年貞観地震および津波を復元しようとしていた産総研の研究手法を紹介するとともに、東北地方太平洋沖地震によって明らかになった津波堆積物から津波規模を推定する研究の重要性と課題、さらにその成果を社会に周知して減災に結びつけるための問題点について紹介する。また、地震の前と後で、地震研究に対する社会の期待や要求がどのように変わったのか、その状況で産総研がどのように社会の要望に応じていくべきかを検討する。

2 地震の評価方法

1995年阪神大震災を契機に文部科学省(当時の科学技術庁)に地震調査研究推進本部(以下、地震本部と呼ぶ。)が設置され、その主導によって地震研究はそれまでの理学的な研究を中心としたものから、地震防災につながる研究へと方向性を変えてきた。その地震研究推進本部の最も重要な事業の一つが「地震の長期評価」である^[1]。

産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター 〒305-8567 つくば市東1-1-1 つくば中央第7
Active Fault and Earthquake Research Center, AIST 1-1-1 Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan E-mail: okamura-y@aist.go.jp

Original manuscript received March 1, 2012, Revisions received June 4, 2012, Accepted June 8, 2012

大地震は、およそ同じ場所で同程度の規模で繰り返すという前提に立ち、過去の地震の発生域、規模および履歴に関する情報に基づいて、将来発生する地震が予測されてきた。この場合、過去の地震についてどこまで信頼性が高い情報をもっているかによって、想定する地震の信頼性が決まってくる。

地震の記録として最も精度が高いものは地震計の記録であるが、過去約 100 年間の情報しか存在しない（図 1）。それ以前の地震記録としては、歴史記録がある。最も古い地震に関する歴史記録は、西暦 599 年の地震であるとされている^[2]が、古い時代ほど記録の頻度が少なく、情報量も少ないため、過去の地震規模を推定する情報として不十分な場合が多い。地震規模を推定するために十分な質や量の歴史記録が残るのは、多くの場合は、江戸時代以降である。歴史記録の最大の長所は地震被害を受けた場所と発生日がおよそ正確にわかることであり、過去の地震記録として広く活用されてきた。それより長い期間の過去の地震に関する情報を提供してくれるのが、津波堆積物や活断層等の地質記録で、地震に伴う地殻変動や津波が地形や地層に残されている。このような自然の中に刻まれた過去の大地震や巨大津波の記録は、発生年代に関してはかなりの誤差が含まれるが、数千年以上の期間にわたって過去の地震および津波に関する情報が得られることが大きな利点である。

一般に活断層の活動間隔は千年以上と長いため、歴史記録から最新の活動のみが明らかになる場合もあるが、多くの場合は歴史記録に見当たらず、自然が残した活動記録に頼るしかない。一方、海溝型地震は数十年から 200 年程度の発生間隔をもつことが多く、歴史記録を用いることによって複数回の地震発生履歴や地震規模に関する情報を得ることができる^[3]。東海地震や南海地震については、1000 年以上前の地震から 9 回の歴史記録が残されている^[2]。日本海溝ではほとんどの記録が江戸時代以降である

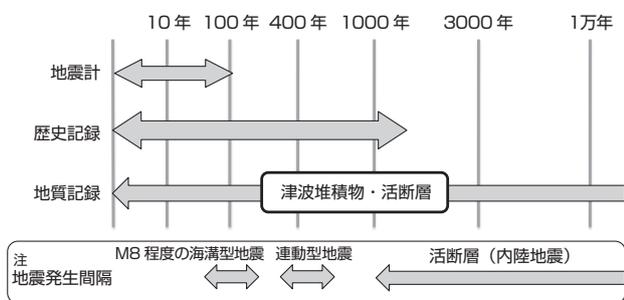


図 1 過去の地震に関する情報が存在する期間と地震の発生間隔
 巨大地震の発生間隔より長い期間の記録を確実にカバーできるのは地質記録だけである。注：地震発生間隔は、異なるタイプのおおよその地震発生間隔を示しており、地震の発生時期を示しているわけではない。

が、マグニチュード 7 から 8 程度の地震が繰り返し発生していた。このような歴史記録に基づいて、海溝型地震の予測が行われてきた^[4]。

歴史記録からは認識されていない巨大津波の証拠は北海道東部の太平洋沿岸域で見つかった。十勝、釧路、根室地方の太平洋沿岸域において、歴史上知られている津波の浸水域より奥深くまで分布する津波堆積物が広範囲で見つかったのである^{[5][6]}。この海域では、十勝沖地震や根室沖地震等マグニチュード 8 前後の地震が数十年から百年程度の間隔で発生してきているが、巨大津波はそれら複数の地震が同時に発生する連動型地震が原因であると考えられた^{[7][9]}。最後の巨大津波は 17 世紀に発生したと推定されているが、歴史記録が浅い北海道では、その状況ははっきりとわかる記録は存在しない。津波堆積物の調査と解析によって、巨大津波の原因となった地震はマグニチュードが 8.5 程度で、発生間隔は約 500 年と推定された。これら研究によって、地質学的な調査・研究から過去の地震・津波規模が再現できること、また、マグニチュード 8 程度の海溝型地震が繰り返し発生している場所でも、それらの規模を大きく上回る巨大地震と津波がまれに発生することが明らかになった。このような考えが正しいことは 2004 年スマトラ沖地震によって証明された。

3 これまでの東北地方の地震想定限界

これまでの東北地方の太平洋側で発生する海溝型地震は、主に江戸時代以降の歴史記録に基づいて評価され、予測されていた。三陸沖を除くと、それらの地震はマグニチュード 7～8 程度の規模で、マグニチュード 9 前後のものは知られていなかった。三陸海岸では 1611 年慶長三陸津波、1896 年明治三陸津波、1933 年昭和三陸津波が発生していることから、津波に対する対策が行われ、意識も高かったと考えられる。しかし、仙台平野以南では、巨大津波に対する意識は極めて不十分であった。ただし、1611 年慶長三陸津波に関しては仙台平野の沿岸部が大きな被害を受けたことが知られており^[10]、それ以前にも巨大津波が来襲したことが歴史記録に残されている^[11]。それが、西暦 869 年の貞観地震とそれに伴う津波である。平安時代に京都の朝廷で作成された日本三代実録には、陸奥国で大地震があり、人が立ってられないほど揺れ、多くの建物が倒壊したと、津波が内陸部まで広く浸したことが記述されている。しかし、その記述は当時の陸奥国の国府があった多賀城の状況だと考えられ、津波の規模や被害の広がりについては十分には明らかになっていなかった。

4 貞観津波の復元

西暦 869 年の貞観地震によって発生した津波（以下、貞観津波と呼ぶ）を再現するための調査研究は、野外での津波堆積物調査、地質試料の分析、津波波源モデルの構築からなる。津波堆積物という地質学的な証拠を徹底的に明らかにし、地球物理学的手法を適用して過去の地震像を推定することが、産総研の古津波研究の大きな特徴である^[12]（図 2）。

野外調査では津波堆積物の分布域を明らかにする。津波堆積物がうまく保存されているかどうかは、さまざまな自然条件やその後の人間活動が関係していることから、現場で数多く掘削することが重要である（図 3）。多くの地点でのデータを積み上げることによって、津波堆積物の分布域を精度よく確認することができる。また、見かけが同じでも年代が異なる津波堆積物が複数枚存在することから、それらを間違いなく対比するためにも、密度の高い調査が必要となる。同時に波源モデルの信頼性を向上させるためには、できるだけ広域的な調査が必要である。

貞観の地震と津波については、吉田が 1906 年に歴史記録を考察し、注意を喚起した^[11]。仙台平野で貞観津波によって形成された津波堆積物が 1990 年以降に報告された^{[13][14]}。それらの調査結果を参考にしつつ、石巻周辺から福島県北部まで調査範囲を広げて津波堆積物の分布を明らかにするとともに、当時の海岸線位置を復元した（図 4）。

石巻では現在の海岸線から 5 km 以上内陸で貞観津波の堆積物が見つかった^[15]。貞観以前の津波堆積物も少なくとも 2 層が、また貞観後にも 2 層の津波堆積物が確認

できた。石巻平野は過去数千年間で次第に広がってきており、貞観津波来襲時には現在の海岸線より約 1.5 km 内陸に海岸が位置していたことも明らかになった。

仙台平野では現在の海岸線から 4 km 以上内陸まで津波堆積物が分布すること、当時の海岸線は 1～1.5 km 内陸にあったこと等が明らかになった。貞観の津波以前にも 3 回以上の、貞観後は少なくとも 1 回の津波浸水があったと推定された^[16]。

野外調査で得られた津波堆積物の分析によって、津波発生年代および地震に伴う地殻変動を推定することができる。年代を推定するため、津波堆積物の上位と下位に分布する泥炭層中から植物の破片を取り出して、放射性炭素¹⁴Cを測定した。この年代測定法は測定試料の選び方によって大きな誤差が出てしまうため、測定試料の選定に十分な配慮を行っている。年代測定の結果、津波堆積物はおおよそ 500 年程度の間隔で形成されていることが明らかになった。また、堆積物中の珪藻化石を分析することによって、福島県北部では貞観津波およびその前の津波発生時に沈降したことも推定した。

これらの津波堆積物分布域まで浸水する津波を発生させた地震の震源位置と規模を数値シミュレーションによって推定した。津波堆積物の分布域だけから震源域の位置を決めることは難しいので、日本海溝沿いで過去に発生したことのある地震を参考に、異なる地震のタイプと規模を想定し、それぞれの断層モデルについて震源位置と地震規模を変化させ（図 5）、それぞれ浸水域を計算し、津波堆積物の分布域と比較した（図 6）。その結果、津波堆積

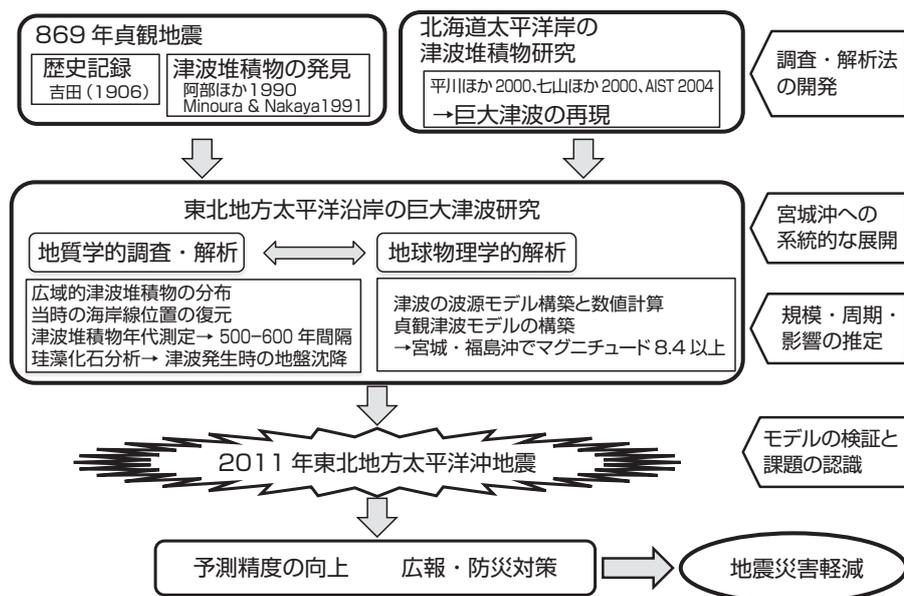


図 2 過去の巨大津波に関する研究の進展

物の分布域まで津波が浸水するためには、宮城県から福島県沖の深さ 15-46 km のプレート境界面上で長さ 200

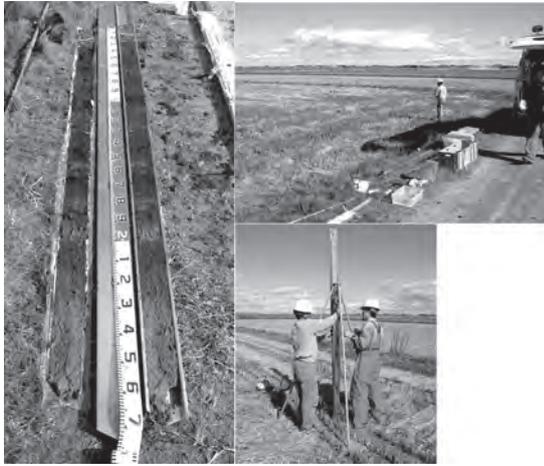


図3 仙台平野における津波堆積物調査
収穫の終わった水田で、ジオスライサーを用いて地下の地層を抜き取る。

km、幅 100 km の範囲が 7 m の滑り (断層変位) を生じるマグニチュード 8.4 の地震が発生する必要があることを明らかにした^{[17][18]}。ただし、この震源断層モデルの構築に当たって、津波浸水域が津波堆積物の分布域より広いことは考慮されておらず、また津波浸水域の北限と南限も明らかになっていない等、地震規模がさらに大きくなる可能性も認識していた^[12] (図7)。

5 地震によって評価された貞観地震のモデル

地震の予測研究が進歩しない大きな理由の一つに、実際に実験ができないことがある。現在使われている科学技術は、実験の繰り返しによって築き上げられたものであるし、その陰には多くの失敗があったはずである。一方、地震に限らず自然現象のスケールはケタ違いに大きい。そのため、実験室内で岩石破壊実験はできるが、その実験結果だけを用いて自然の地震を予測することはできない。高温高压下での岩石破壊・変形実験によって、地下深部での

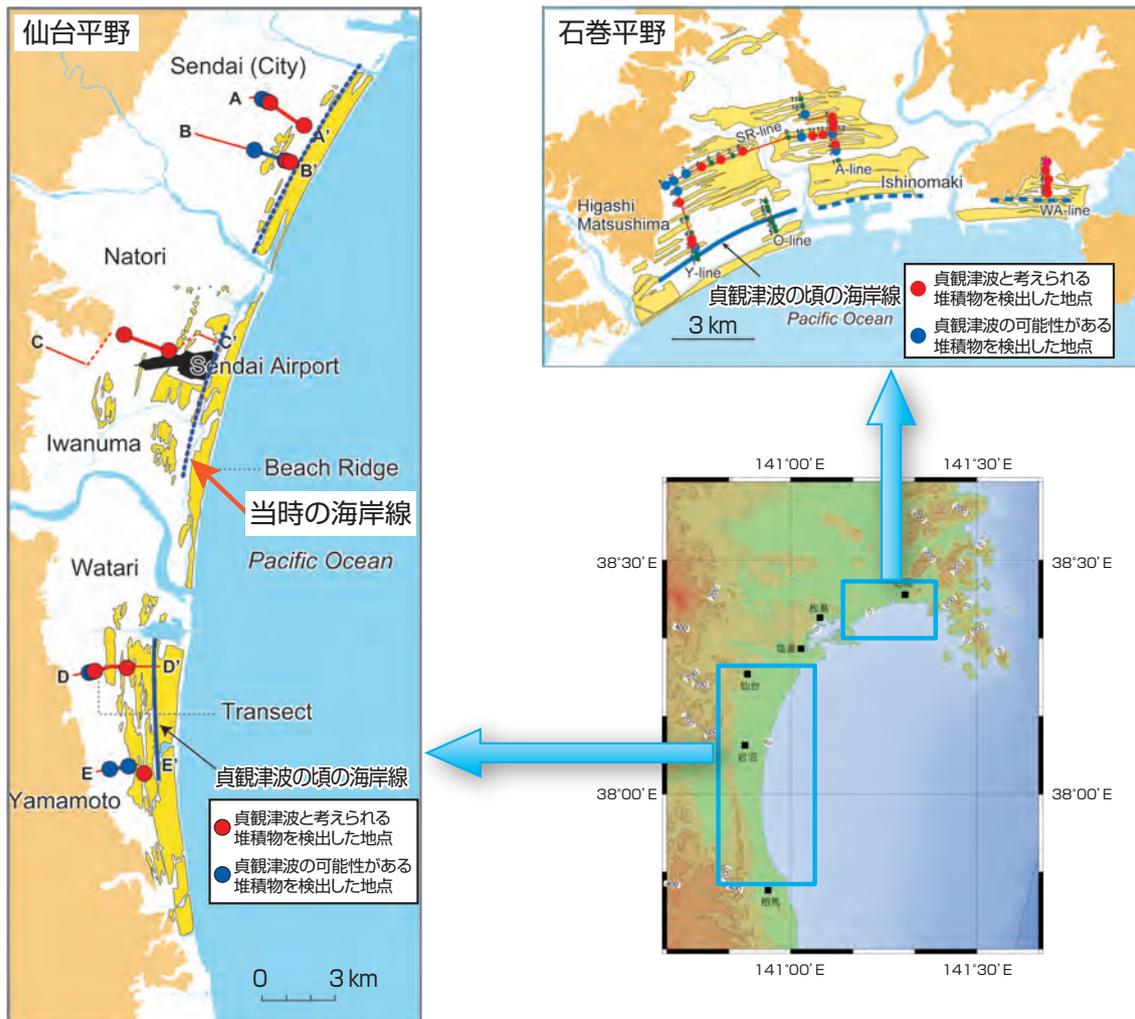


図4 石巻・仙台平野における貞観津波の分布域と当時の海岸線^[12]
いくつかの測線に沿って詳細な堆積物の調査を実施し、分布域を解明するとともに、当時の海岸線位置も確認した。

岩石の力学的な性質は明らかになりつつあるが、物質の多様性、流体の存在等地震が発生している地下深部の条件は未知のことが多くあり、それらの自然の条件を完全に実験室で再現することは不可能である。そのため、実際に発生した地震のデータを解析することによって地震学は進歩してきた。

津波堆積物等に基づいて過去の地震像を再現しても、それが正しいかどうかは、実際に地震が発生しないと検証できない。東北地方太平洋沖地震は、津波堆積物を用いた研究により過去の地震が推定されている場所ではじめて発生した巨大津波を伴う地震であり、古地震学的な研究の有効性が検証できる機会となった。

地震規模からみると、マグニチュード 8.4 以上と推定した貞観地震のモデルは、東北地方太平洋沖地震の震源域よりかなり小さいものであった。しかし、仙台平野では津波堆積物の海岸線からの到達距離には貞観地震と東北地方太平洋沖地震とは大きな違いはない^[19](図 8)。さらに、東北地方太平洋沖地震によって形成された津波堆積物の調査から、津波堆積物(砂層)が形成された範囲より、津波(海水)は 1~2 km 程度内陸まで浸水していることが明らかになってきた^[19]。この知見は、津波堆積物の分布域から津波の規模を予測するために極めて重要である。この差を考慮して貞観地震の津波規模を再評価する必要があるし、他の海域での津波堆積物調査の結果にも適用することによって、津波規模の予測精度を向上させることができる。

このように、東北地方太平洋沖地震によって、津波堆積物が過去の巨大津波の証拠として信頼性が高いこと、その存在を自然からの重大な警告として受け止めるべきであることも実証された。一方で規模予測に関しては不十分な面があり、課題が明確になった。

6 地震研究の社会への周知

兵庫県南部地震前は、関西では地震が起こらないとの思い込みがあったといわれるが、六甲山が活断層の活動によって隆起してきたことや、神戸でいつかは大地震が発生する可能性があることは、地震以前から活断層の専門家の間では知られていた。しかし、そのような一部研究者の知見は地域の防災に活かされることはなかった。研究者による地震に関する研究成果を社会の地震防災に活かすためには、研究成果を客観的に評価し、防災上重要な信頼できる情報として国が社会に提供する必要があると判断され、地震本部が設置された(図 9)。

兵庫県南部地震の後、活断層の危険性が広く認識され、その活動履歴を明らかにするための調査が実施され、その結果に基づいて地震本部から活断層評価として公表されて

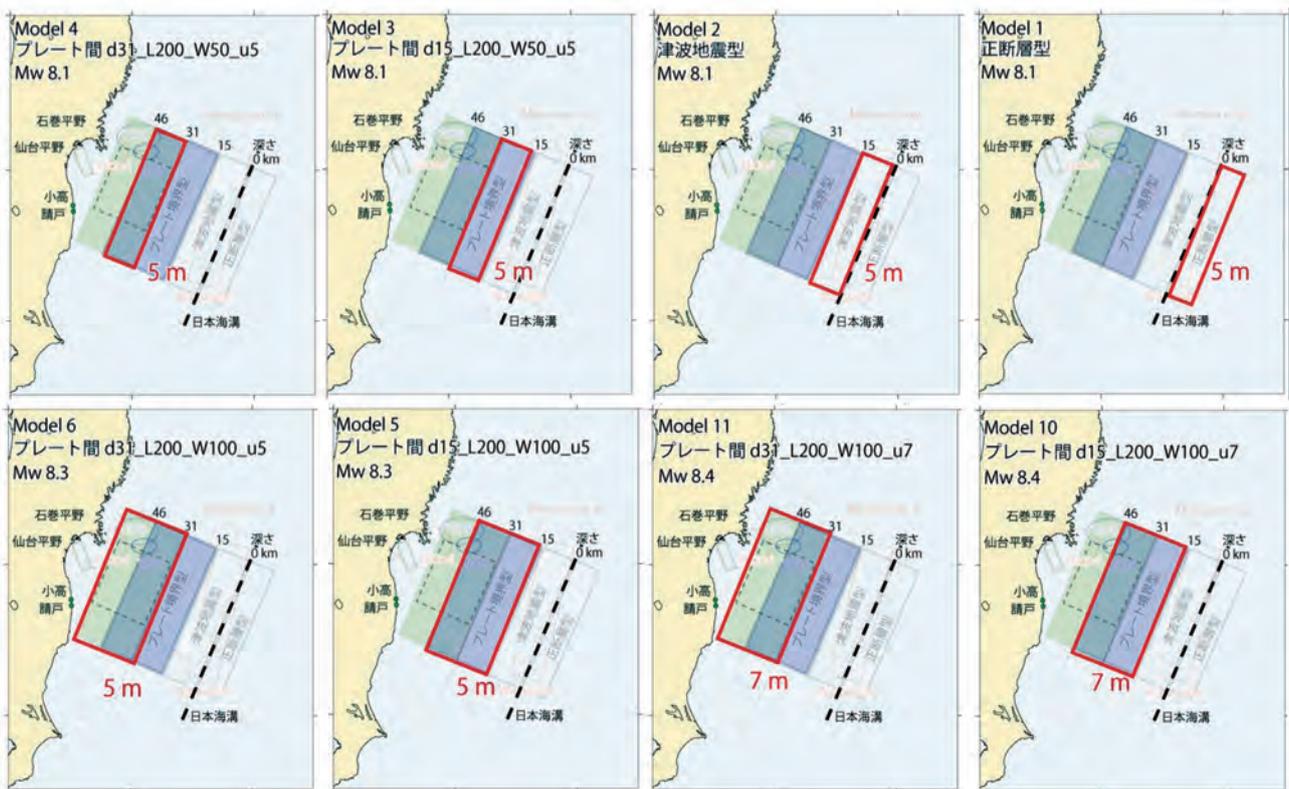


図 5 貞観津波の波源モデルの計算例(文献 [17][18]より編集)
東北沖で沈み込む太平洋プレート上に異なる規模の断層面を想定し、津波を計算。

きた。また、沈み込み帯で発生する海溝型地震についても主に歴史記録に基づいて評価が公表されていた。このように地震本部が地震の危険性を評価し、公表することによって、自治体や社会が危険性を認識し、対策を講じるという合理的なシステムが完成していた。

先に述べた貞観地震の研究成果についても、2010 年春に産総研から地震本部に研究成果が提出され、地震本部で約 1 年をかけて日本海溝全体の地震について評価の見直しが行われていた。東北地方太平洋沖地震が発生していなければ 4 月にも貞観地震の評価も含めて公表されていたと考えられる。公表されてもすぐに防災対策が実施できるわけではないから、被害軽減にどこまで役立ったかわからないが、少なくとも石巻平野、仙台平野、福島県沿岸に巨大津波が来襲する可能性があることを少しでも多くの人々に知ってもらえる機会にはなっていたはずである。

地震本部からの研究成果の公表が間に合わなかったことをとても悔しく思ったし、成果の公表や周知をより迅速にできていれば、少しでも被害を軽減することができたはずであったという悔いは消えないであろう。一方で地震発生前に我々は何もやっていなかったわけではない。研究成果は逐次学会で発表し、その内容はマスコミの関心を受けて、新聞・テレビ等でも報道されたが、地域の意識改革や防災対策に結びつくことはなかった。数は少ないが宮城県で一

般向けの講演も行った。参加者数は限られているが継続的に行っていけば、津波に対する意識を少しずつ変えることができたかもしれない。しかし、巨大津波の危険性を広く社会に警告することを産総研の研究者だけで行うことは能力を超えており、地震本部を中心とした情報伝達システムを活用することが最も効率的で効果的であると考えられる。地震本部を中心とした地震に関する情報の公表システムが存在する中で、そこからの最終的な評価が出る前に、自治体等が防災対策を積極的に推進することは困難であったと推定される。

地震本部が国としての地震の警告を社会に発信するというシステムは、やはりとても重要で必要である。しかし、国としての情報発信だけに、慎重になって時間がかかるという欠点がある。重大な災害になり得る研究成果については、最低限の客観的検証を迅速に行って公表するようなシステムがあってもいいのではないかと考えられる。

地震発生後、地震に対する社会の不安と関心が高まったため、多くの研究者による津波堆積物の調査や地震の予測に関する見解が、十分な検証がされる前からマスコミによって数多く報道されるようになった。しかし、研究途上の内容を社会に周知することには一長一短があると考えられる。長所はもちろん社会へ早く情報が流れることである。今回のような間に合わないという可能性をできるだけ小

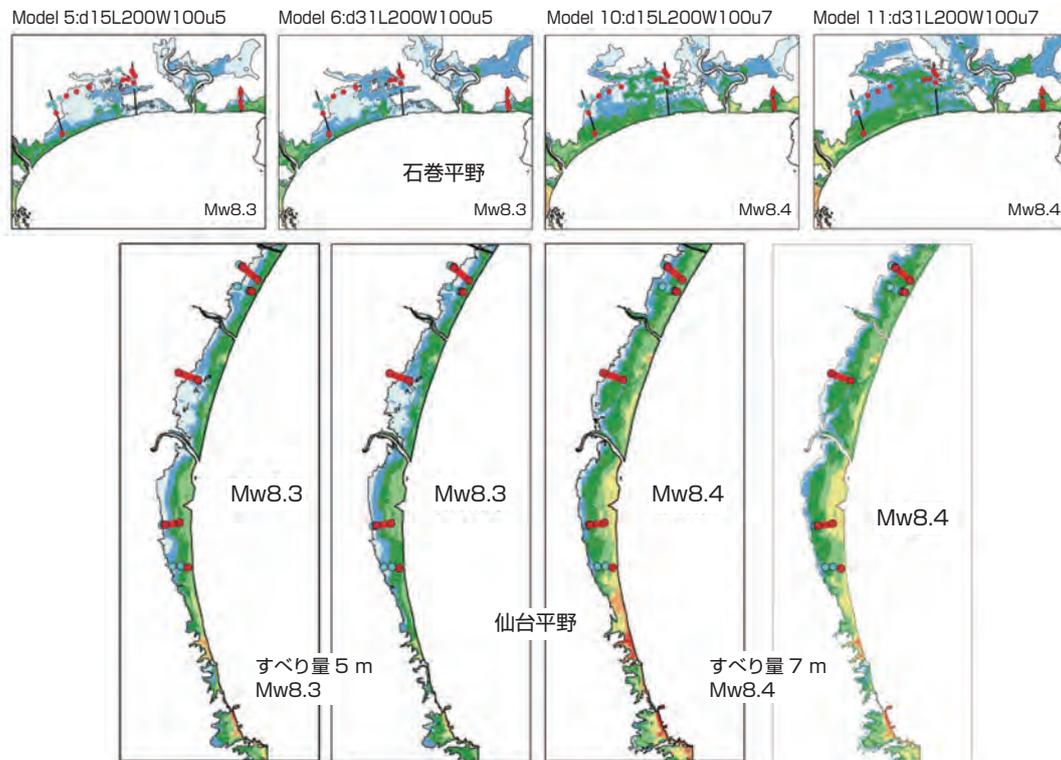


図 6 貞観津波の波源モデルに基づいた浸水域の計算例 (文献 [17][18] より編集)
 図 5 のモデル 5、6、10、11 による石巻平野 (上) と仙台平野 (下) の浸水域。最終的にモデル 10 (右から 2 番目) を貞観のモデルとした。

さくすることができる。一方で、信頼性が確認されていない研究途上の結果であることも忘れてはならない。マスコミは規模が大きな津波が予測されるという見解をすぐに取り上げるが、後になってその見解が否定された際には、その研究だけでなく、同様の研究に対する信頼性が低下する可能性がある。そのような混乱を避けるためにも、迅速に客観的評価を行うシステムが整備されることを期待する。

7 地震前後の社会の変化

東北地方太平洋沖地震の前は内陸地震が多発していたことから、日本社会では地震に対する意識は高かったと考えられるが、津波に対する意識は低かった。そのため、巨大津波が来襲する可能性があることへの理解を得て、対策に結びつけるために、説得力のある研究結果を示す必要があり、津波堆積物調査を時間をかけて丁寧に行った。また、津波堆積物調査の結果を用いて津波規模を推定する際にも、地震や津波の規模を根拠なく大きくすることは説得力を失うことから、明確な証拠がある範囲での地震や津波の想定を行ってきた。地震発生後は、これらの方針が正しかったか疑問に思った時期もあった。しかし、明確な根拠を示さずに巨大津波の予測を公表しても、地震前に社会がそのモデルを受け入る可能性は低かったであろう。地震本部からの成果公表が地震に間に合わなかったことは極めて

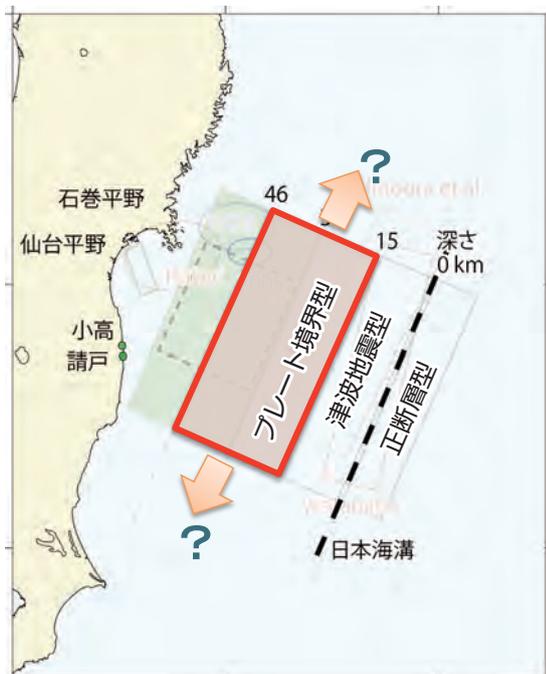


図7 地震前に想定した貞観津波の波源断層モデル（モデル10）¹¹⁷⁾¹¹⁸⁾
石巻平野から福島県北部までのデータに基づいて作成されているので、さらに北側および南側まで広がる可能性はあった。

残念であるが、上記の研究方針は間違っていなかったと考えている。

3月11日に東北地方の沿岸部を襲った津波によって、津波に対する不安が一気に高まった。地震前の国や自治体には、想定する地震の規模を十分な根拠もなく大きくすることに大きな抵抗があったが、地震後は最大規模の地震・津波を想定するという方針に変えた¹²⁰⁾。過去に実際に発生したことが確認された地震を想定するのではなく、これ以上大きな地震や津波は発生し得ないという最大規模の地震を想定するという方針である。地震の専門家は、どこまで想定規模を大きくする必要があるかについて、判断を迫られている。地震研究への要求が180度変わったといっても過言ではない。残念ながら、現在の地球科学は適切な最大の地震規模を決めることができない。結果として、必要以上に大きな地震および津波を想定する可能性が高い。最大の地震規模を適切に決める研究が必要とされている。

8 今後の課題

日本社会は東北地方太平洋沖地震の衝撃から当分の間

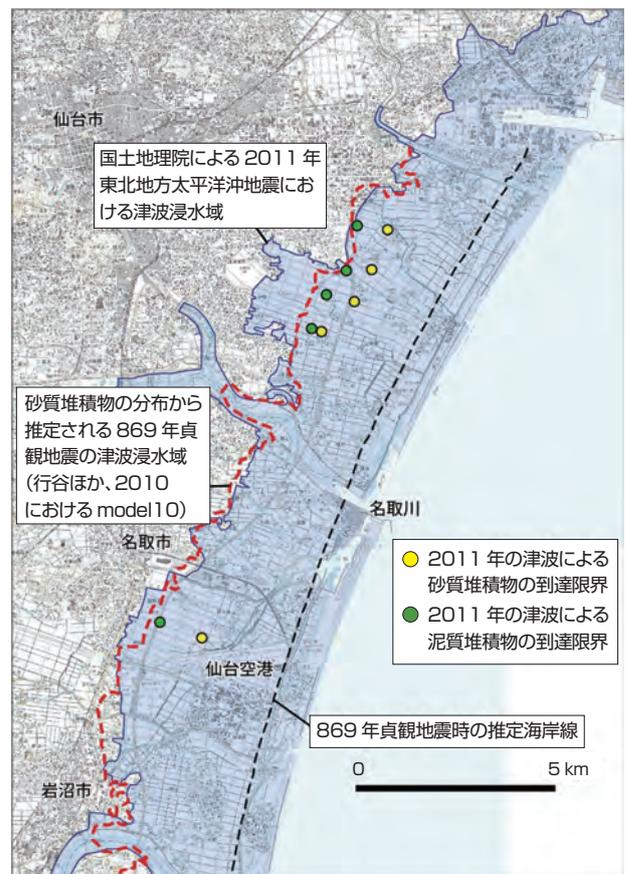


図8 貞観津波モデルで計算した浸水域と2011年東北地方太平洋沖地震の浸水域¹¹⁹⁾
貞観の津波堆積物分布域に基づいて計算した津波浸水域と、2011年の津波浸水域がおおよそ一致する。

逃れることはできないであろう。また、今後どのような想定がなされようと、地震や津波への不安が消えることもないと考えられる。被害をできるだけ軽減し、不安感をできるだけ小さくするためにも防災対策を着実に実施していくことが求められるが、適切なレベルの対策を決めることは容易ではない。また、防災対策を進めても、自然災害に対する危機意識を持続させることも忘れてはならない。そのようなことを念頭に産総研地質分野の役割を考えると、やはり過去の地震についてできるだけ詳しい調査を行い、どのような地震がどこで発生していたかを明らかにしていくことと、その情報を社会に発信し続けることが最も重要なミッションであろう。過去の地震に関する情報とともに、現在の自然科学のレベルで解明できること、できないことを提示する必要がある。その上で、どのように対策を行うかを社会全体で考えていくことが必要である。

産総研の研究成果が社会に広く活用されるためには、地震本部から国によって再評価され、周知されるシステムが今後も必要であると述べた。しかし、それだけでは地域社会全体に十分な情報が行き渡らない可能性が高いし、時間もかかる。地震本部の評価がどのような情報に基づいているのか、どのような課題があるのか等について自治体や地域社会等にもできるだけ詳しい情報を産総研から直接提供し、同時に情報交換を積極的に進めることも必要であると考えられる。さらに、国の評価が公表される前に自治体等への情報提供も考えてよいだろう。そのような、情報提供、情報交換を行うためには、県等の自治体との交流を定期的に行い、信頼関係を築いていく必要がある。

同時に、日本列島の地質学的な特性等の、地質一般に関する知識もわかりやすく提供することによって、自然を理解し、さまざまな災害を想定した上で、日本の都市計画や

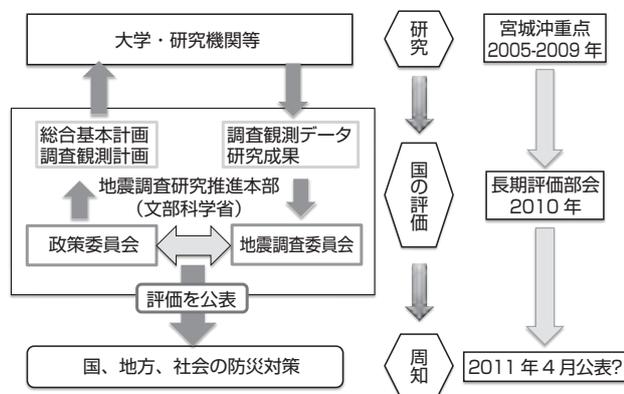


図9 地震調査研究推進本部の役割

文部科学省に設置された地震調査研究推進本部は、地震に関連した調査・研究機関の情報を収集し、再評価して将来発生する地震の規模や確率を公表している。

国土利用の方法を考えていく必要がある。日本人は今までも数多くの自然災害による被害を受けてきた。その苦難を克服して今日の繁栄を築き上げてきた。例えば建築物の耐震性は世界的にも最も進んだレベルにあると考えられる。しかし、今の社会は全体として自然災害に対して脆弱になっていることは否定できない。その理由の一つに、自然への理解が足りなくなってきたことが挙げられるように思う。地質学に基づいた過去数万年からそれ以上の期間に起こってきた日本列島の変動を理解することによって、自然災害に対する心構えも根付くと期待される。そのために必要な情報を社会に提供していくことが、産総研地質分野のミッションであろう。

謝辞

貞観津波の研究は、産業技術総合研究所活断層・地震研究センターの、宍倉正展研究チーム長、澤井祐紀主任研究員、行谷佑一研究員、東京大学地震研究所佐竹健治教授らとの協力体制で実施されました。この研究の実施に当たっては、現地の地権者および関係機関にはご理解を頂き、ご協力をしていただきました。以上の方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] 地震調査研究推進本部:地震に関する基盤的調査観測計画 <http://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku97/s8kei.htm#1-1> (1997).
- [2] 宇佐美龍夫: 最新版日本被害地震総覧 416-2001, 東京大学出版会 (2003).
- [3] 石橋克彦, 佐竹健治: 古地震研究によるプレート境界巨大地震の長期予測の問題点-日本付近のプレート沈み込み帯を中心として-, *地震*, 50, 別冊, 1-21 (1998).
- [4] 地震調査研究推進本部: 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価の一部改訂について http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09mar_sanriku/index.htm (2009).
- [5] 平川一臣, 中村有吾, 原口 強: 北海道十勝沿岸地域における巨大津波と再来間隔, *月刊地球*, 号外 28, 154-161 (2000).
- [6] 七山 太, 佐竹 健治, 下川 浩一, 重野 聖之, 古川 竜太, 広田 勲, 牧野 彰人, 野島 順二, 小板橋 重一, 石井 正之: 千島海溝沿岸域, 霧多布湿原において確認された巨大地震津波イベント, *月刊地球*, 号外 28, 139-146 (2000).
- [7] F. Nanayama, K. Satake, R. Furukawa, K. Shimokawa, B. F. Atwater, K. Shigeno and S. Yamaki: Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench, *Nature*, 424, 660-663, doi:10.1038/nature01864 (2003).
- [8] 佐竹健治, 七山 太: 北海道太平洋岸の津波浸水履歴図, 数値地質図 EQ-1 (2004).
- [9] K. Satake, F. Nanayama and S. Yamaki: Fault models of unusual tsunami in the 17th century along the Kuril trench, *Earth Planets Space*, 60, 925-935 (2008).
- [10] 都司嘉宣, 上田和枝: 慶長16年(1611), 延宝5年(1677), 宝暦12年(1763), 寛政5年(1793), および安政3年(1856)の各三陸地震津波の検証, *歴史地震*, 11, 75-106 (1995).
- [11] 吉田東伍: 貞観11年陸奥府城の震動洪溢, *歴史地理*, 8 (12), 1033-1040 (1906).

- [12] 宍倉正展, 澤井祐紀, 行谷佑一, 岡村行信: 平安の人々が見た巨大津波を再現する—西暦869年貞観津波—, *AFERC ニュース*, 16 (2010).
- [13] 阿部 壽, 菅原喜貞, 千釜 章: 仙台平野における貞観11年(869年)三陸津波の痕跡高の推定, *地震*, 43, 513-525 (1990).
- [14] K. Minoura and S. Nakaya: Traces of tsunami preserved in inter-tidal lacustrine and marsh deposits: some examples from northeast Japan, *Journal of Geology*, 99, 265-287 (1991).
- [15] 宍倉正展, 澤井祐紀, 岡村行信, 小松原純子, Than Tin Aung, 石山達也, 藤原 治, 藤野滋弘: 石巻平野における津波堆積物の分布と年代, *活断層・古地震研究報告*, 7, 31-46 (2007).
- [16] 澤井祐紀, 岡村行信, 宍倉正展, 松浦旅人, Than Tin Aung, 小松原純子, 藤井雄士郎: 仙台平野の堆積物に記録された歴史時代の巨大津波—1611年慶長三陸津波と869年貞観津波の浸水域—, *地質ニュース*, 624, 36-41 (2006).
- [17] 佐竹健治, 行谷佑一, 山木 滋: 石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション, *活断層・古地震研究報告*, 8, 71-89 (2008).
- [18] 行谷佑一, 佐竹健治, 山木 滋: 宮城県石巻・仙台平野および福島県請戸川河口低地における869年貞観津波の数値シミュレーション, *活断層・古地震研究報告*, 10, 1-21 (2010).
- [19] 宍倉正展: 津波堆積物からみた869年貞観地震と2011年東北地方太平洋沖地震について, *日本地震学会ニュースレター*, 23 (3), (2011).
- [20] 中央防災会議: 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告, 中央防災会議 http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/higashinihon/index_higashi.html (2011).

執筆者略歴

岡村 行信 (おかむら ゆきのぶ)

1980年名古屋大学理学研究科修士課程修了後、通商産業省工業技術院地質調査所に入所し、日本周辺海域の海底地質調査に約24年間かかわり、海洋地質図を作成するとともに、地質構造の形成過程について研究してきた。2004年から活断層研究センターで津波堆積物の研究に参加、2009年から活断層・地震研究センター長。



査読者との議論

議論1 全般的コメント1

コメント (富樫 茂子: 産業技術総合研究所)

この論文は、津波堆積物という地質学的な証拠を徹底的に明らかにし、これに地球物理学的手法を適用して過去の地震像を推定して、長期的な地震予測により防災に資する研究について、科学の社会貢献の方法を論じています。

具体的には、1) 津波堆積物の地質記録、歴史記録、観測記録等、時間スケールの異なるデータを統合し、地球物理的モデルとしてシミュレーションすることにより、過去の地震の復元モデルを提示し、現実には発生した地震によるモデルの検証を通じて、予測精度を向上させるという科学的方法論を示しています。さらに、2) 研究途上であっても最新の研究成果を、社会に迅速かつ不確定性の範囲も含めて正確に周知し、現実的な防災対策に貢献するための方法を論じています。

これらは、科学の社会貢献の方法論としての観点から、重要な問題を提起しており、*Synthesiology* 論文として適切と考えます。

査読を通じて、上記の方法論としての意義をより明確に記述するよう修正されました。

議論2 全般的コメント2

コメント (小野 晃: 産業技術総合研究所)

古地震を復元するという研究目標を達成するために、津波堆積物の地質調査という要素的な研究と地球物理的な方法とを統合した地震モデル構築の手法は、優れた第2種基礎研究だと思います。東北地方太平洋沖地震が起こる前に、この研究を高い完成度で仕上げていたことに敬意を表します。

この研究で貞観地震が高い信頼性で復元されました。研究成果の周知が、今次実際に起こった東北地方太平洋沖地震と津波に対して時間的に十分間に合わなかったことは残念ですが、一方で、構築した地震モデルが直ちに現実の事象によって検証されたことは、全くの偶然であったにしろ、今後の大規模地震への我々の対応に大きな意義をもつものと思います。将来あると考えられる大規模な東海、東南海、南海地震とそれによる津波を高い信頼性で予測する上で、今回構築された地震モデルが大いに役立つと思います。

議論3 地質学と地球物理学のアプローチ

コメント (小野 晃)

この論文で何か所か、産総研地質分野の役割、ミッション、あり方について言及されています。*Synthesiology* 誌が広い分野の読者から読まれることを考えますと、論点を「産総研」に閉じるよりも、「地震学」あるいは「地震研究」に広げることはできないでしょうか。

回答 (岡村 行信)

「地震学」あるいは「地震研究」の主流は地球物理学をベースとした研究で、産総研が進めている地質学をベースとする研究は少数派でした。その少数派の研究が東北地方太平洋沖地震で注目されたわけですが、主流の研究者達も事前に警告を出せなかったことの原因解明や、そのことを教訓とした今後の研究の方向性を議論しているところでは、この論文では、地質学をベースとする地震研究の重要性を強調し、また課題を議論することを目的としております。地震学全体のあり方で論点を広げることは本題から外れるうえ、私自身にも荷が重い課題です。「はじめに」で産総研の地震研究と、地震研究主流との違いを簡単に追記しました。

議論4 古津波研究についての科学的方法論としてのフローチャートの提示

コメント (富樫 茂子)

古津波研究についての科学的方法論としてやや一般化したフローチャートにさせていただけると理解しやすいのではないかと思います。

回答 (岡村 行信)

例を参考に、私なりにアレンジして、図2を作成しました。

議論5 「迅速に客観的評価を行うシステムの整備」に関するアクション

コメント (富樫 茂子)

6章末尾の「迅速に客観的評価を行うシステムの整備」の提案に関してのアクションはどのようなものなのでしょうか？

回答 (岡村 行信)

客観的評価は、地震調査委員会のような国の機関が行う必要があると考えられ、国の評価プロセスがスピードアップされることが最も効果的だと思いますが、その実現は簡単ではありません。もう一つの方法として、正しい津波堆積物調査の方法を論文文化して公表することを進めています。各研究者が信頼性の高い調査結果を公表するようになれば、結果として信頼性の高い津波評価が早く社会に広まることになると期待しています。