

満点計画と阿武山 地震観測所サイエンス・ ミュージアム化構想

京都大学 防災研究所 地震予知研究センター 教授
飯尾 能久



内陸地震の発生予測に関する研究をすすめている。関西の企業との共同研究等により新しい観測システムの開発や地震災害の軽減と理科の普及のため、アウトリーチ活動を積極的に行っている。

はじめに

南海トラフの巨大地震は今世紀中頃に起こる可能性が高いと言われていますが、その前後に、西南日本の内陸において、被害地震が多くなることが知られています。しかし、どこでどれ位の大きさの地震が起こるのかはほとんど分かっていません。一方、東北地方太平洋沖地震の後、日本列島はこれまでとは違った動きを見せていますが、今後、地震や火山活動がどのような推移を示すのかもよく分かっていません。このように、我々は、日本列島のことを本当には理解出来ていなかったわけです。課題は山積されていますが、中でも、内陸地震はどうして発生するのかが不明であることが大きな問題です。

1. 内陸地震はどうして発生するのか？

阪神淡路大震災の頃は、図1のように、内陸のプレートが沈み込む海洋プレートに「押される」ことにより、内陸の断層に圧縮力が加わり、断層が耐えきれなくなってすべるために内陸地震が発生すると答えられていました。しかし、東北地方太平洋沖地震が示しているように、海溝型の巨大地震が起こると、押されていた内陸のプレートは逆に大きく引っ張られ、圧縮力は大きく減少してしまいます。もしこの単純な仕組みだけが働いているのなら、内陸の断層に蓄えられた歪みエネルギーは、プレート境界の巨大地震の発生の度に解放され、ある値以上には蓄積されないこととなります。沈み込む海洋プレートの立場になってみると、内陸のプレートを押そうとしているのだが、ときどきつるつるすべってしまってなかなか押せないということ

阪神淡路大震災の頃に言われていた 内陸地震が起こる仕組み

1. 内陸プレートが沈みこむプレートにおされる
2. 内陸プレートのひずみが大きくなる
3. 内陸の断層がたえきれなくなると地震がおこる

おかしいこと:

- i) プレート境界の巨大地震がおこると、内陸のひずみが元にもどる

海洋プレートが押そうとしても時々つるつるすべってしまってそれ以上押せない



地震調査委員会編「日本地震活動」に加筆

図1 かつて言われていた内陸地震が起こる仕組み

になります。内陸大地震の発生間隔（個々の断層における）はプレート境界の巨大地震よりずっと長いので、この仕組みだけでは、プレート境界の巨大地震の発生間隔を超えて、内陸の断層に歪みエネルギーを蓄積することは出来ません。つまり、内陸地震は発生しなくて良いということになります。

かつてもう一つよく言われていたことに、地震は岩石の破壊現象であり、それは原理的に予測不可能であるということがあります。それは、内陸プレート内の地震を起こす断層付近の岩石は均質な弾性体（ガラスのようなもの）であるという前提によるものですが、近年の様々な調査研究等により、この前提は正しく無いことが分かってきました。内陸のプレート内には、周囲に比べて「やわらかい」領域が存在し、そこが選択的に変形するために、その周囲に歪みを及ぼすと考えられています（例えば、飯尾,2009）。より具体的には、図2に示すように、「やわらかい」領域の実態は、断層のゆっく

りすべりであり、地震すべりを起こす断層の下部地殻への延長部におけるゆっくりすべりにより、断層の歪みエネルギーが増加することが、内陸地震の発生過程として最もあり得そうなシナリオです。これにより、海溝型の巨大地震が起こった場合でも、内陸プレートには引き続き圧縮力が働いており、それにより「やわらかい」領域が継続的に変形する（下部延長がゆっくりすべり続ける）ことにより、長期間にわたって、内陸の断層の歪みエネルギーが増加し続けられるわけです。

このシナリオを観測データから検証して、断層への応力集中過程を明らかにすることが大変重要です。このシナリオが正しいならば、地震発生前に、「やわらかい」領域や断層周辺の歪みの集中を捉えることにより、内陸地震の発生場所やその大きさの予測に役立つと期待されるからです（図3）。しかし、地質学者が知っている断層の下部地殻への延長部の厚さはせいぜい数 km 程

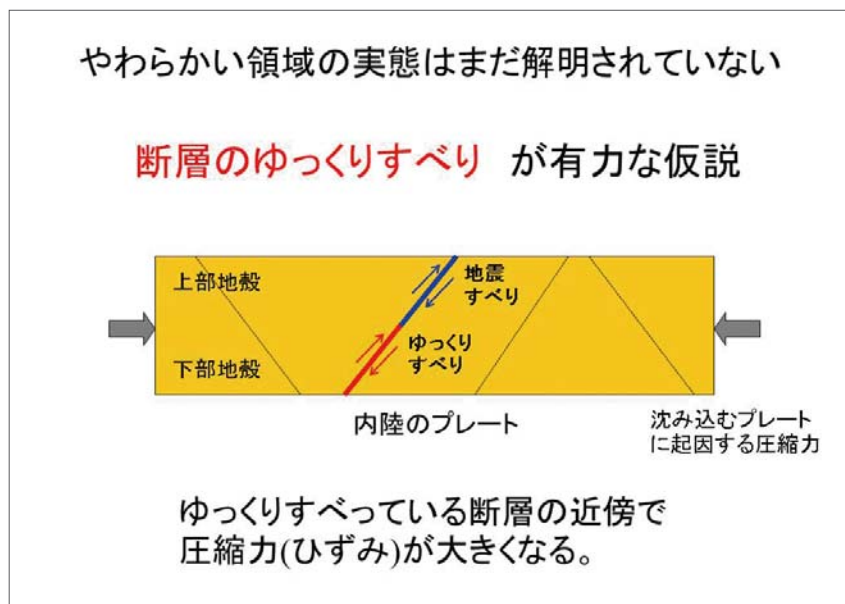


図2 内陸のプレート内のゆっくりすべりにより断層に歪みがたまる

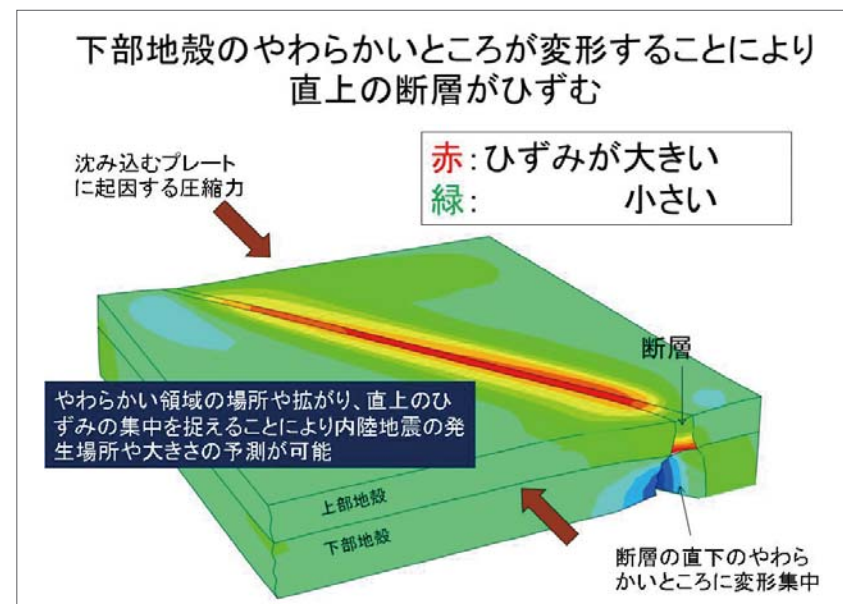


図3 有限要素法により再現された内陸地震の発生過程

度ですし、その変形による歪みエネルギーの集中も局所的なものだと考えられます。したがって、これらを捉えるためには、構造や歪み場の分解能を1km程度まで向上させる必要があります。そのためには、地震観測点の密度と数を飛躍的に増大させる必要があるため、通称「満点計画」を始めました。

2. 満点計画とは？

地震観測を質・量ともに飛躍的に向上させるために、多点で高精度かつ容易に地震を観測できる安価な次世代型の地震観測システムを開発しました。これにより、機材さえ揃えば万点規模の観測網が構築可能となり、このシステムは地震観測の一つの理想像に近いので、これを「満点システム」と名付けました。そして、「満点システム」を活用して、地震観測点数を飛躍的に増やす計画、「満点計画」を始めました（図4）。満点計画は、特定のプロジェクトに対応しているのではなく、その背景となる哲学や思想のようなものであり、地震や火山観測などの研究者や関西の中小企業等が関係しています。

1970年代後半頃から、電気通信技術の進歩等により、自然地震観測は大きく進化し、オンライン方式が主流となりました。ただし、データ伝送のために、観測点は、基本的には電気や電話を引くことが出来るところに限定されました。無線を使うことは可能ですが、消費電力は非常に大きく、システムは大規模なものとなります。このようなシステムでは、道路のない山の中に多数の観測点を作ることは出来ず、観測点密度を上げることは難しいです。オンラインでデータを伝送することを諦めてオフライン方式とすると、システムは簡単になり、消費電力も小さくすることが可能です。しかし、従来の装置は、乗用車用の小型バッテリーでは1～2ヵ月しか稼働せず太陽電池が必要でしたし、データ記録容量もせいぜい数ヵ月程度でした。日本では日本

海側などで冬季に積雪が多いこともあり、従来は通年のオフライン観測をすることは困難でした。幸いにして、京都大学の総長裁量経費から開発費を頂き、低消費電力と高い時刻精度を両立し大きな記憶容量を持つ記録装置（EDR-X7000）を開発することが出来ました。岩手宮城内陸地震の余震観測で初めて現場に投入されましたが、消費電力は、現時点で最も優れたものと比較しても半分程度以下であり、単1乾電池8本で2ヵ月以上の連続観測の実績もあります。過酷な条件の野外で用いることを第一に考え、コネクタも含めて防水構造としました。また、設置やメンテナンスに要する時間を短くするため、各種のパラメータ設定はパソコンを使わずに、記録媒体のCFカードから読み込むことなどの工夫をしました。

記録装置に良いものが出来ると、地震計の方が気になります。記録装置は1.2kg程度と小型軽量ですが、その頃使っていた地震計は大きく重く、また取



図4 満点計画と阿武山観測所

り扱いが簡単ではありませんでした。これではせっかく記録装置を開発しても、システム全体として良いものにはなりません。そこで、磁性体の粉末焼結の技術を活用して小型高性能の磁石とコイルのシステムを構築することにより、小型軽量地震計（KVS-300）が開発されました。地震計と記録装置のいずれも特許を取得しています。両方を同時に開発することにより、システムとして使い勝手の良いものとなりました。

開発の費用に加えて、観測プロジェクトに関しても、科研費、文部科学省の委託業務「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」、地震・火山噴火予知のための観測研究、防災研究所の共同利用研究など、目的もフィールドも異なるいくつかのプロジェクトにおいて予算が処置されました。近畿地方中北部の例を図5に示しました。1976年には12点だった高感度の地震観測点が、満点計画の88点の増強により各機関の定常観測点と合わせて128点と約10

倍になっています。

小型軽量で取り扱いが簡単であることは、海外の観測で特に威力を発揮します。2011年2月のクライストチャーチ地震に際しては、現地のカンタベリー大学などと共同で余震観測点を29カ所設置し、現在も一部で観測を継続しています。地震や火山に関する観測以外でも、地すべり地や河川堤防などAC電源の無い場所での観測に威力を発揮します。現時点では、防災研の直営分だけでも国内外のおよそ250カ所（海外は約50カ所）でデータを記録し続けています。観測に際しては、地元の方々の理解が欠かせません。図6に、ニュージーランドにおいて牧場主とその家族に観測の説明をしている写真を付けましたが、このような地元の方々の暖かいサポートのおかげで良いデータを取り続けることが可能となります。

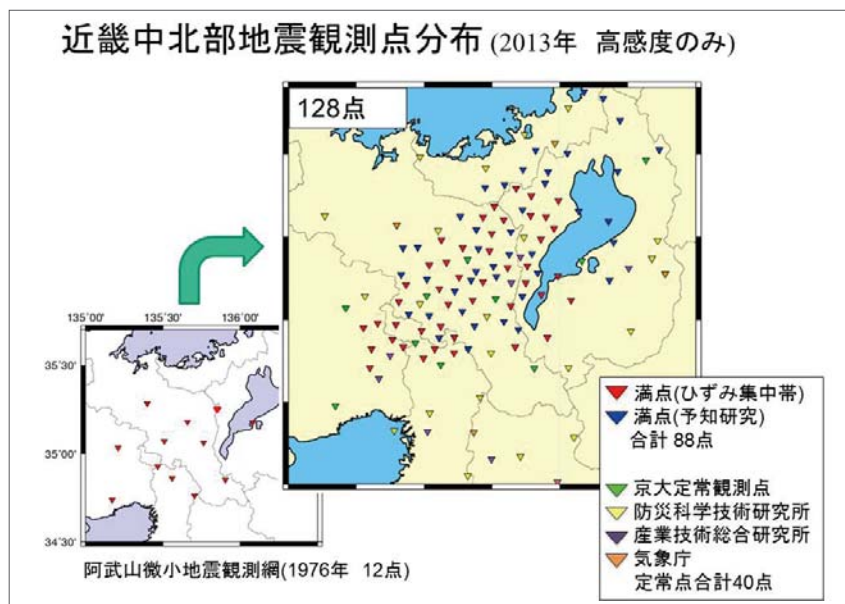


図5 近畿地方中北部における高感度地震観測点の変遷



図6 ニュージーランド南島での観測風景

3. 阿武山地震観測所サイエンス・ミュージアム化構想

満点計画では、観測点数を万点規模にしようとしています。これまで、観測は基本的に我々専門家がやるものでしたが、それが万点規模となると、実は、もはや自分たちだけで可能なレベルを超えています。専門家が、地元の方々のご理解の下に自分たちで1万点の地震観測を行うということではなく、地元の方と一体となって観測を行うような、根本的な発想の転換が必要ではないかと計画開始当時から感じていました。

また、1万点規模となると、機材の維持管理や消耗品のストックからデータの処理・解析・データベース化にいたるまで、色々な点において、膨大な資源を必要とします。機材の保管一つでも膨大なスペースが必要なわけです。幸いにして、大阪府高槻市の京都大学防災研究所阿武山（地震）観測所にスペースを見つけることが出来ました。阿武山観測所は、かつては地震観測の一大拠点でしたが、宇治キャンパスに機能が統合され、地殻変動連続観測などの1観測点としての機能を残すだけとなり、施設の縮小等が議論となっていました。そこを満点計画の基地として再生しようと考えました。

ところで、阿武山観測所は1930年頃に設立された歴史ある施設で、当時世界最先端だった歴史的地震計等が動態保存されています。これらを活用することにより、阿武山観測所を満点計画の基地としてだけでなく、地震学や防災研究のアウトリーチ活動や防災教育のための拠点としても再活用出来ないかと考えました。幸いにして、防災研究所にはその方面のエキスパートが沢山います。矢守克也教授はこれらの趣旨に賛同くださり、それらをさらに推し進めて、阿武山をサイエンス・ミュージアム化するという構想を立てて下さいました。実際に阿武山観測所の併任教授となり、サイエンス・ミュージアム化構想プロジェクトを開始しました。2012年度から始まった「減災社会プロジェクト」においても、阿武山観測所は重要な一翼を担っています。

近年、防災のための知識や技術の高度化に伴って、防災といえば専門家や

行政の実務者が担うもので、非専門家（一般の人々）はそれに従っていればよいとの考えが拡大してきたことが大きな問題として上げられていました。こうした考え方のもとでは、防災教育の中心テーマは、専門家が獲得ないし開発した正しい知識・高度な技術を非専門家に指導・伝達すること、および、そのための教材の開発が中心となります。しかし、そのような防災教育では、かえって、防災専門家と非専門家との障壁を高め、例えば、行政・専門家依存（「防災は行政や専門家がやること」意識の増大）や、情報待ち（災害情報が質量ともに向上するにつれて、逆に、人びとが情報を待って迅速に避難を行わない）といった問題を引き起こす恐れがあります。よって、非専門家が、防災を、自分たちも専門家と共に担うことができる、あるいは共に担うべき活動だと実感する取り組みが重要であることが指摘されていました。

上記のように満点計画では、専門家だけではなく一般の方と一緒に地震観測を行うことを指向し始めていました。一方、阿武山観測所のサイエンス・ミュージアム化構想では、上述した防災研究における課題など乗り越えるために、単に歴史的な地震計を公開するだけではなく、地元の方々とともにサイエンス・ミュージアムそのものを作り上げていく活動にすることが検討されていました。このように動機は少し異なっていますが、両者は同じ方向を向いていたということが言えます。さらに、満点計画の観測においては、一部ではありますが、実際に非専門家に観測を担ってもらう取り組みも始まっていました。たとえば、京都府京丹波町の下山小学校と鳥取県日野町根雨小学校では、小学生が地震計の設置から電池交換などのメンテナンス、データの送付までの全てを担い、満点計画に参画して下さっています（図7）。この試みは、満点計画防災教育プログラムと名付けられています。満点システムの設置場所の提供とメンテナンスを通じて、非専門家（小学生）が最先端の防災研究へ参加することで、満点計画本体の推進と理想的な防災教育の両方が実現可能となるというものです。下山小学校の生徒さんが阿武山観測所を訪問して歴史的な地震計等を実際に見学したり、阿武山と各小学校をイン

ターネットをつないでテレビ会議を行い、情報交換を行ったりしています。このように、満点計画と阿武山観測所という両輪により、最先端の地震研究と防災研究を進めています。

阿武山観測所では、2010年以前は、訪問者は年間100～200人程度でしたが、2013年度には、オープンラボ等のイベントの開催された延べ日数50日、訪問者約1700人と活発な活動を行っています。2014年度は耐震改修が始まったため途中で休館しましたが、さらに活発な活動を行っていました。この中で強調したいのは、観測所が多様な関係者のコラボレーションの結節点としての役割を果たし始めた点です。2012年度から活動を開始した「阿武山サポーター」は、ボランティアですが、観測所ツアーガイドとして見学者の対応を行うだけでなく、自らツアープログラムの新規開発等を行うとともに、出前型の地震授業などの観測所外の活動も行っています。図8に、サ

ポーター養成と認定を受けたサポーターによる実際のツアーの様子を示しました。見学者の方には感想等をアンケートで答えてもらっていますが、4段階評価においては、専門家よりもサポーターが案内した方がずっと高い評価が得られています。さらに、道路の側溝の清掃など観測所の敷地内の環境維持に関しても、地元のボランティアが頻繁に活動を行っています。このように、観測所は、これまでにない形で、防災学に関する産官学民のコラボレーションを推進し、地震学を含む防災研究を広く社会の中に浸透させ、逆に、社会からのフィードバックを受けるためのアリーナとして機能し始めています。

京丹波町 下山小学校での取り組み



図7 下山小学校での地震計設置風景



サポーターのための見学ツアーの講習



サポーターの説明を真剣に聞く見学者

図8 阿武山観測所におけるサポーターの活動風景

おわりに ー鳥取県西部地域における 0.1 満点計画ー

2014 年度から、文科省科研費新学術領域「地殻ダイナミクスの解明ー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」が採択され、鳥取県西部地域において、さらに高密度の地震観測をする計画が始まりました。2015 年春と夏には 80 カ所の観測点が増強され、2017 年度には千点の観測網を構築する予定です。千点を 0.1 万点と言い換えて、0.1 満点計画と称しています。まだまだ万点まで届いていませんが、専門家が自分たちだけで出来るレベルは超えているので、鳥取県等にお世話になり、一般向けの地震防災講演会を行い、観測に協力して下さる方を募集しています。幸いにして地元の方々に感心を持って頂き、協力して下さる方も現れ始めています。最先端研究において専門家と一般の方々とが共同して成果を上げ、それが地域の防災にも役立つことを期待しています。

【参考文献】

飯尾能久, 2009, 内陸地震はなぜ起こるのか?, 近未来社.
阿武山観測所とは?

<http://abuyama.com/introduction/introduction.html>

阿武山観測所サイエンス・ミュージアム化計画

<http://abuyama.com/gsp/museum.html>

〔次世代型稠密地震観測〕満点計画

<http://abuyama.com/manten/manten.html>

〔巨大地震津波災害に備える次世代社会の研究〕減災社会プロジェクト

<http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/gsp/>