

## 地震観測関連の文部科学省委託研究



前 地震研究部地震観測データセンター長 小原一成  
(現 東京大学地震研究所 教授)

防災科研は、日本全国に基盤的地震観測網を展開・運用し、そのデータは気象庁による地震活動監視や緊急地震速報に利用されるほか、さまざまな地震調査研究の基本的データベースとして国内外で大いに活用されています。防災科研では、このデータをもとに地殻活動モニタリングや大地震の発生モデル構築のための研究を進めていますが、いくつかの特定の地域では、既存観測網に機動的観測点を追加する重点的調査観測研究を、文部科学省の施策に沿って、他の外部研究機関と連携しながら実施しています。ここでは、このような地震観測関連の研究について紹介します。

### 1. 「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」

#### 1.1. はじめに

東北日本の日本海沿岸部には、「ひずみ集中帯」と呼ばれる、地殻が大きく変形している領域が広がり、そこには活断層や活褶曲などの活構造が数多く存在し、たびたび大きな被害をもたらす地震が発生します。そのため文部科学省では、ひずみ集中帯の活構造の全体像を明らかにし、震源断層モデルを構築することにより、ひずみ集中帯で発生する地震の規模の予測、発生時期の長期評価、強震動評価の高度化に資することを目的とした研究プロジェクトを2008年度から開始しました。

#### 1.2. プロジェクトの概要

このプロジェクトは、6つのサブプロジェクト、19の個別テーマから構成されています。サブプロジェクトの内容は以下のとおりです。

- (1) 自然地震観測 ひずみ集中帯の陸域及び海域において稠密な定常的地震観測網を構築して自然地震を観測し、このデータに基づいて高精度な震源分布を得ると共に、地下深部の断層評価や強震動予測に必要な地震波速度構造と非弾性の三次元的な分布を明らかにする。また、国内でひずみが集中しているとされる地域において地震・火山等の調査観測を実施し、ひずみ集中帯の地震発生メカニズム解明に資する。
- (2) 制御震源を用いた地殻構造探査 ひずみ集中帯の陸域及び海域において、制御震源を用いた大深度反射法・屈折法、高分解能反射法探査等を行い、ひずみ集中帯の活構造、断層の深部形状、地震波速度の絶対値などを明らかにする。
- (3) GPS 連続観測等による精密ひずみ観測 ひずみ集中帯において精密なGPS観測を実施し、ひずみ集中帯を横切る方向での地殻変動分布の現状を明らかにするとともに、得られた地殻変動分布を説明できる物理モデルを構築する。
- (4) 活断層の地形地質調査 陸域において変動地形調査、浅層ボーリング調査、空中

写真判読調査等を実施すると共に、海域では音波探査による海底面調査を実施し、地表及び海底面の変動構造・地殻ひずみ速度を明らかにする。

#### (5) 強震動予測高精度化のための調査研究

既存の表層地盤データの収集・整理、微動探査等により、ひずみ集中帯の平野部を中心とした浅部・深部統合地盤モデルを作成するとともに、この地域で起きた地震の震源特性を分析し、断層モデルに関する情報を総合して震源モデルの高度化を行う。強震動評価に基づいて本プロジェクトで構築される震源断層モデル及び地下構造モデルの検証を行う。

#### (6) 歴史地震等に関する記録の収集と解析

ひずみ集中帯で過去に発生した大地震の地質学的、歴史学的、地震学的記録などの調査に基づき、過去の地殻活動を明らかにし、長期評価の精度向上に資する。

防災科研は、プロジェクト全体の代表機関としてこれらの取りまとめを行なうほか、(1)のサブプロジェクトにおいて陸域の自然地震観測を、(5)のサブプロジェクトで浅部・深部統合地盤モデルの作成を担当しています。

### 1.3. 調査の手法

ひずみ集中帯に存在する活断層の形状を詳しく把握するためには、人工的に地震波を放射し、地下から反射して地表に戻ってくる波を観測して、地層の食い違いなどから活断層を割り出すという手法がよく用いられます。これを、陸域と海域、および海陸を統合して大規模に実施することにより、複数の断層面の形状を解明することが可能です。この手法では、ほぼ一直線に地震計や人工震源を配置し、その測線に沿った2次元断面とし地下構造をイメージします

が、活断層の広がりを知るためには、3次元的に調査を行う必要があります。そのため、稠密な地震観測網を展開し自然地震を観測して、地震の波の伝わる速さやエネルギーの伝えにくさの分布パターンを3次元的に明らかにし、断層の広がりやひずみ集中の原因を探るための地下構造を調べます。陸では新潟県とその周辺に300台、海では自己浮上型とケーブル式の海底地震計を用いた観測を実施しています。また、地形や地質の分析から活断層が地表に現れる正確な位置を求めるとともに、活断層周囲の地層年代から、断層のずれ動く速度や地震の発生間隔を割り出します。さらに、稠密なGPS地殻変動観測の結果もあわせて、以上の研究成果を総合して得られた震源断層モデルを元に、そこで地震が発生した場合における地震動の強さが計算されます。このとき、震源断層の大きさに対してどのような地震動が放出されるか、あるいは地盤の柔らかさなどは、地表面での揺れに大きな影響を与えますので、それらについても調査研究を進めます。最終的に計算された結果と、実際に過去に発生した地震の震度分布を歴史資料などに基づいて詳細に推定した結果と比較し、構築したモデルの妥当性を検証します。

### 1.4. これまでの主な調査結果

すでに2カ年が経過し、各種調査研究も順調に進められていますが、ここでは大規模地殻構造探査とその関連調査結果について紹介します。2008年度は新潟県域において、弥彦沖から三条を経て越後山脈に至る63kmの区間で海陸統合探査を実施し、越後平野東縁断層帯の位置から東に25度の角度で傾斜する断層が深さ7kmまで追跡されました。この付近では、1828年に越後三条地震が発生しています。これまで、三条地震の震央は越後平野の東部に推定されて

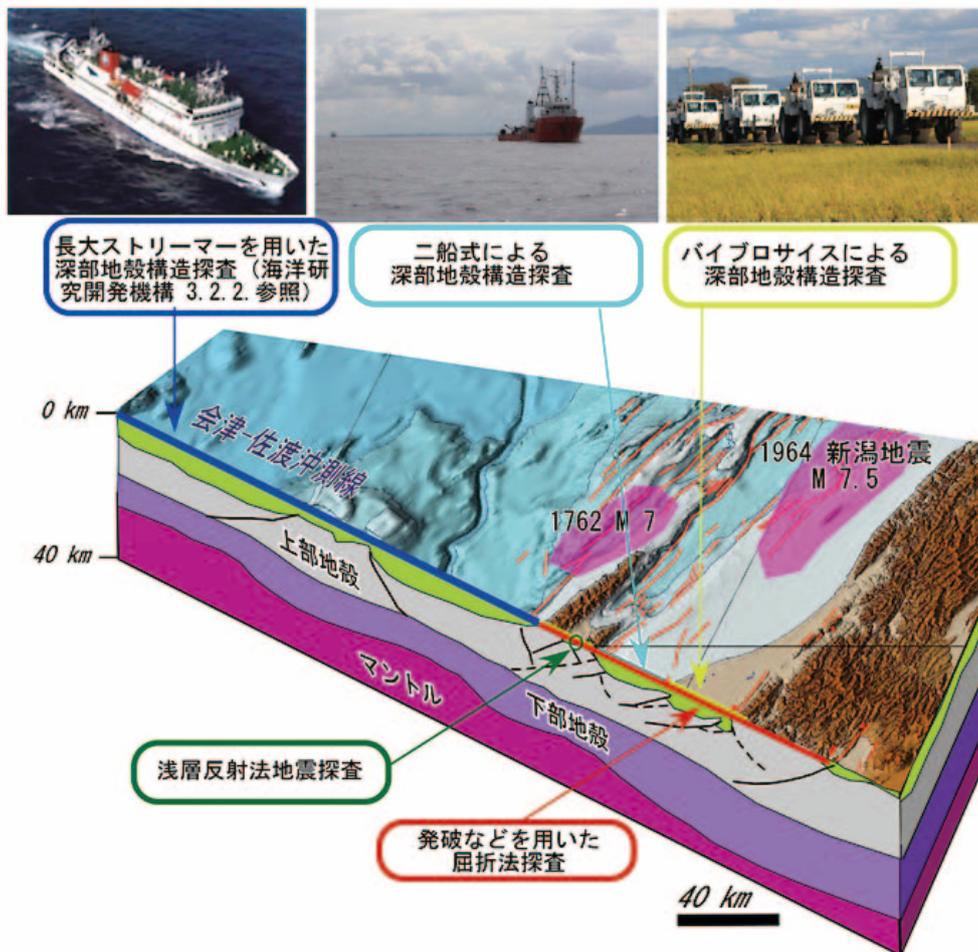


図1 会津-佐渡沖の海陸統合地殻構造探査測線

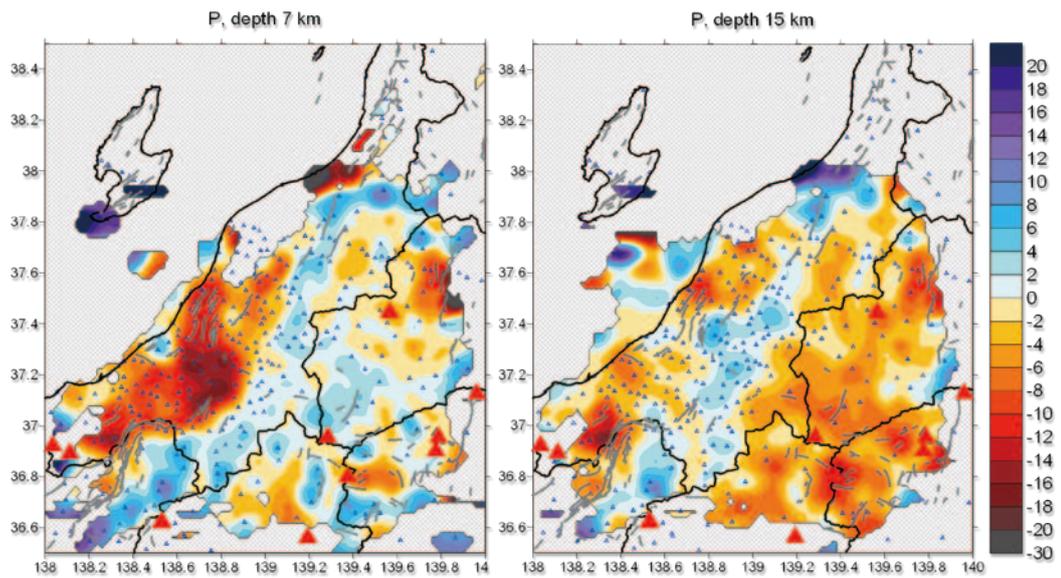


図2 自然地震観測データによるP波トモグラフィ結果。左右それぞれ、深さ7km、15km、の水平断面図を示す。青い三角は解析に用いられた観測点、灰色の線は活断層、赤い三角は火山を示す。活断層に沿って、低速度域が広がっている様子がわかる。

いましたが、越後平野の下には対応する明瞭な活断層を見出せず、また、本プロジェクトのサブテーマのひとつである古地震調査による震度分布の研究から、丘陵部でも震度5以上の領域が存在することが明らかにされたことから、東傾斜の越後平野東縁断層が三条地震を引き起こしたと推定されます。強震動のサブテーマにおいてこの震源断層モデルを用いて簡便法に基づいた強震動計算を行ったところ、歴史資料から推定された震度分布と調和的な結果が得られました。

また、2009年度は会津から佐渡沖に至る全長約340kmの測線において、海域と陸域を統合した構造調査を実施しました(図1)。この調査では、陸域のダイナマイト発破による震動を陸だけでなく海底に設置した地震計でも、また海域で発信したエアガンの信号を陸域に展開した地震計でも相互に観測します。データ量が膨大なため、解析は継続して行っていますが、これまでの結果としては、本測線上に分布する月岡断層・新津背斜東翼の断層・角田一弥彦断層・佐渡島東縁の活断層の形状が明らかになったとともに、日本海からひずみ集中帯までの地殻構造の変化を捉えることができました。一方、新潟県域を中心として300箇所に展開した地震観測装置から回収した、約1年間の観測データに基づいた3次元トモグラフィー解析(CTスキャン)によって、詳細な地下のイメージングが可能となりました(図2)。その結果、厚い堆積層に起因する地震波速度の低速度異常域が存在することや、速度境界と活断層の位置がほぼ関連していることを示すことができました。これらの結果を組み合わせることで、震源断層の広がりや位置を推定することが可能であると期待されます。

## 2. 「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」

### 2.1. はじめに

南関東でM7程度の地震の発生確率は、30年以内で70%程度と、かなり高く予測されています。政府の中央防災会議では、首都直下の地震の一つの類型として想定された東京湾北部地震によって、最大で死者数約11,000人、経済被害約112兆円との予測がなされています。このように、南関東で発生するM7程度の地震については切迫性が高く、それにより推定される被害が甚大であるにもかかわらず、その地震像の詳細は必ずしも明らかではありません。そこで、防災・減災対策をより効果的に実施するためにも、M7程度の地震が具体的にどの場所、どのタイプで発生するか首都圏に被害を及ぼす地震のメカニズム、震源断層モデルを構築することが必要であり、そのため、2007年度から5カ年計画で、3つのサブプロジェクトが開始されました。

### 2.2. プロジェクトの概要

地震観測に関連するサブプロジェクト1「首都圏でのプレート構造調査、震源断層モデル等の構築等」は、東京大学地震研究所が代表機関として受託し、以下の4つの研究テーマから構成されています。

- (1) 地震計を用いた自然地震観測によるプレート構造調査 首都圏に中感度地震観測網を構築して自然地震を観測し、このデータに基づいてプレート構造を推定する。
- (2) 制御震源等を用いた地殻構造探査 (1)の結果と合わせて首都圏で発生する大地震の震源域の地震学的構造を明らかにする。
- (3) 歴史地震等の記録の収集・整理・再評価

首都圏で発生する大地震の発生時系列を明らかにする。

(4) 震源断層モデル等の構築 首都圏で発生する地震の震源断層モデル・地下構造等のモデルを高度化する。

以上の研究テーマからの成果に基づいて、南関東で発生するM7程度の地震をはじめとする首都直下地震の姿の詳細を明らかにし、首都直下地震の長期予測の精度向上や、高精度な強震動予測につなげることを目的としています。

なお、サブプロジェクト2「都市施設の耐震性評価・機能確保に関する研究」は、防災科研兵庫耐震工学研究センターが代表研究機関となっています。

### 2.3. 防災科研での実施内容

地震観測に基づく研究としては、上記の(1)の中で「統合処理によるプレート構造調査研究及びデータ保管」という課題を分担し、東京大学地震研究所によって首都圏に新たに整備された中感度地震観測網 (MeSO-net) と防災科研の基盤的地震観測網データを統合し、本プロジェクトの研究基盤となるデータベースの構築及び保管システムの整備を行なっています。ここで整備されるデータベースに基づき、相似地震活動や群発地震活動の高精度相対震源決定処理による地震クラスター解析、首都圏を含めた広域3次元地震波速度構造トモグラフィー、減衰構造トモグラフィーなどを行っています。また、MeSO-net と周囲の防災科研基盤的地震観測

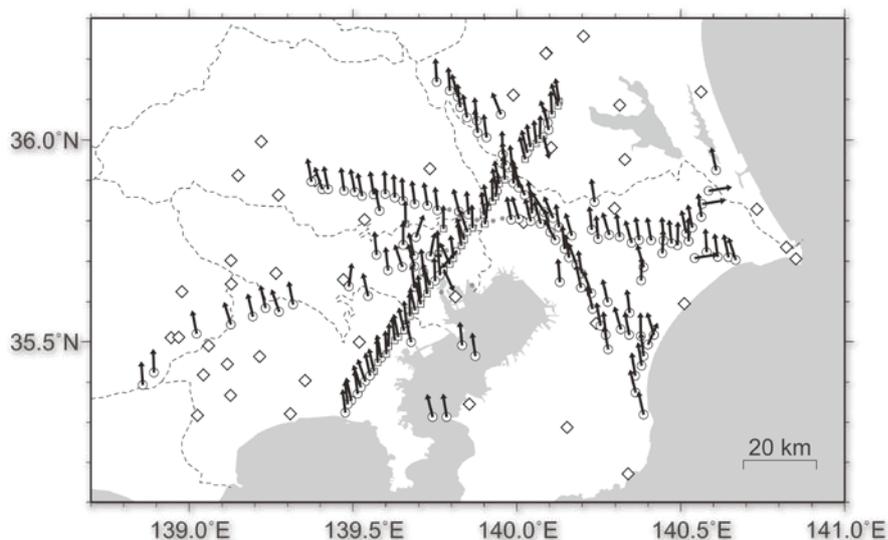


図3 推定された MeSO-net 地中地震計 N 成分の設置方位。菱形と丸は、それぞれ、防災科研 F-net/Hi-net 観測点および MeSO-net 観測点の位置を表す。

網で得られた波形データを比較し、MeSO-net 地中地震計の設置方位の推定を実施し (図3)、今後の波形データ解析のための基本的情報の整理を行っています。

## 3. 「東海・東南海・南海地震連動性評価研究」

### 3.1. はじめに

東海・東南海・南海地震は、今後30年以内の発生確率と想定マグニチュード (M) をそれぞれ、87% (M8.0程度)、60~70% (M8.1前後)、50%程度 (M8.4前後) と想定されています。過去の地震記録等によれば、これら3つの地震は、連動して発生する可能性が高いとされており、震源域周辺では甚大な被害の発生が懸念されています。このため、東海・東南海・南海地震の想定震源域等における稠密な海底地震・津波・地殻変動観測、大規模数値シミュレーション研究、強震動予測、津波予測、被害想定研究等を総合的に行うことにより、東海・東南海・南海地震の連動性の評価に資するとともに、これらの地震が連動して発生した場合の人的・

物的被害の軽減に資することを目的とした研究開発プロジェクトを、海洋研究開発機構を中心として実施することとなりました。

### 3.2. プロジェクトの概要

本プロジェクトは、東海・東南海・南海地震の連動性の評価に加えて、リアルタイムモニタリング、物理モデル、シミュレーション、データ同化等を用いた総合的な「予測評価システム」を実現するための科学技術基盤を構築するものであり、次の2つのサブテーマから構成されます。

#### (1) 東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究

#### (2) 連動を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

防災科研は、サブテーマ(1)において、「陸域機動的地震観測による付加体・プレート境界付近の構造調査」という課題を分担し、巨大地震セグメント境界の陸域深部延長部におけるプレート境界付近の構造異常を調査し、セグメント境界との関連性や連動性への関与を明らかにすること、および付加体形成過程と超低周波地震の関連性を明らかにするため、超低周波地震の発生メカニズム解決の高精度化を目指すとしています。これらの目的を達成するため、長期機動型広帯域地震観測点を西南日本の陸域に新たに展開・運用するとともに、既存の基盤的地震観測点とあわせた解析を進めます。

### 3.3. 実施内容

2008年度に紀伊半島南部の2箇所、2009年

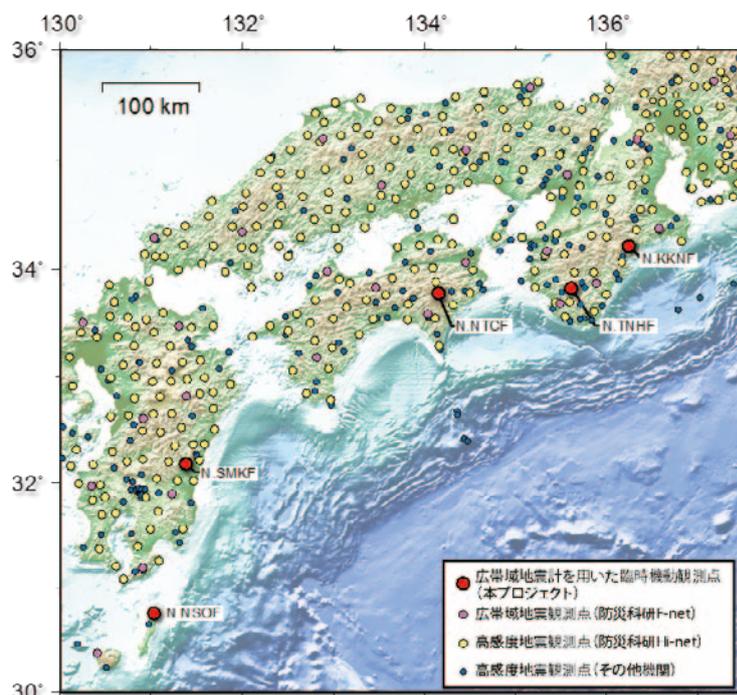


図4 西南日本に設置した長期機動観測点の概略位置と既存観測点の分布

度に四国および九州にそれぞれ1、2箇所の臨時機動型広帯域地震観測点を設置し観測を開始しました(図4)。紀伊半島南東沖は、東南海地震と南海地震のセグメント境界として認識されており、この境界を形成する原因となる構造異常を陸域から観測することを目指しています。これらの観測点では、紀伊半島南東沖、室戸岬沖、日向灘周辺で発生する浅部超低周波地震活動が検知されており、これらの活動の高精度なメカニズム解決に大きく貢献することが期待されています。

## 4. 「神縄・国府津-松田断層帯における重点的な調査観測」

### 4.1. はじめに

地震調査研究推進本部では、①地震の規模が大きく(マグニチュード8程度)、地震の発生確率が高い3つの断層帯、及び②首都圏等の人

人口密集地において地震の発生確率が高い3つの断層帯が、重点的調査観測の対象として挙げられており、神奈川県西部の神縄・国府津—松田断層帯は、②の選定基準に該当します。また、この断層帯は伊豆半島が日本列島に衝突する場所に位置することから、フィリピン海プレートやそこで発生する海溝型地震との関係の解明に向けた断層の形状の把握、地震を起こす最小区間ごとの活動履歴や平均変位速度の解明などが、活断層評価の高度化のための優先課題とされています。これらの課題を解決するため、東京大学地震研究所を中心として、当断層帯に関する研究を実施することとなりました。

#### 4.2. プロジェクトの概要

本プロジェクトは、以下の3つのサブテーマから構成されています。

- (1) 断層帯の三次元的形状・断層帯周辺の地殻構造解明のための調査観測
- (2) 断層活動履歴や平均変位速度の解明のための調査観測
- (3) 断層帯周辺における地震動予測の高度化のための研究

防災科研では、上記サブテーマ(1)の中で「自然地震観測に基づく断層周辺の広域的3次元構造調査」を分担し、神縄・国府津—松田断

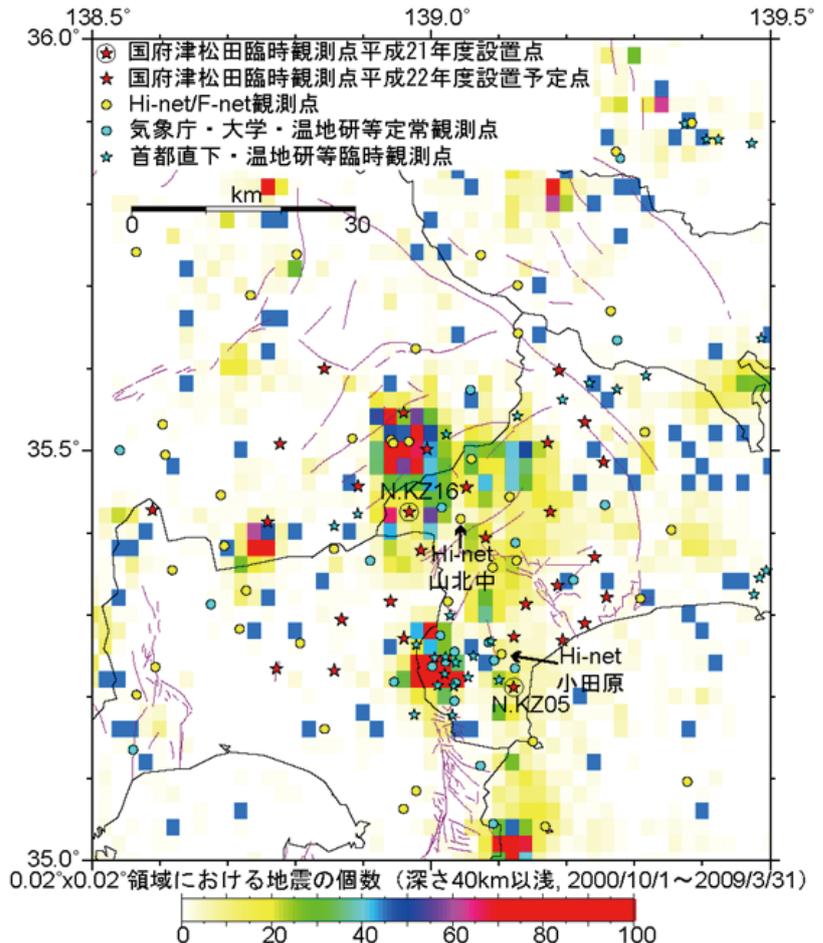


図5 小領域における2000年10月～2009年3月までの深さ40km以浅の地震の個数と本プロジェクトによる機動的観測点の予定位置

層帯を取り巻く地域に約30台の機動型地震観測装置を展開し(図5)、周辺の既存の基盤的地震観測網および火山観測網のデータを合わせて、震源・発震機構解再決定、地震波トモグラフィ等の解析を実施し、地殻・プレート構造の3次元イメージを得ることを目的としています。本格的な調査は2010年度からですので、今後、データが蓄積され、成果が発信されることが期待されます。