

深地層研究施設整備促進補助事業  
(岐阜県瑞浪市の深地層研究施設を活用する試験研究等に係る事業)

## 第2章 プロジェクトの概要

# 深地層研究施設整備促進事業の概要

## — 東濃地域における深地層研究施設を活用する試験研究等に係る事業 —

### 1. 事業の目的

本事業は、国家事業として実施している深地層研究施設の整備について地元住民の理解を得ることを目的とし、深地層研究施設を活用しながら地元の要請である地震研究と地域地震防災の研究を実施するものである。

1995年阪神・淡路大震災を契機に、地震観測調査研究および地震危険度の評価は国で実施しているが、その効率的な実施を図るため、地方自治体と協力して推進することとしている。岐阜県では、活断層が多いこともあり、東濃研究学園都市構想の一環として地震研究所の設立を要望していた。国の要請もあって、公益財団法人地震予知総合研究振興会は瑞浪市に東濃地震科学研究所を設置した（平成9年度）。本財団は地震調査研究推進本部の業務の一部を受託するなど、地震の専門家を多数擁しているため、そのノウハウを活かしながら、東濃および周辺地域をターゲットに内陸地震やプレート境界地震のきめ細かい調査研究を実施することとした。

一方、全国的な防災活動については、中央防災会議が災害対策基本法に基づき、行政・公共機関・企業等各レベルの地震防災対策計画の策定と実施を担当しているが、地震被害の実態は多様であり、地域の対応力も異なるため、本事業では、この点に配慮して地域地震防災のあり方についても調査研究を推進することとした。

全体構想としては、深地層研究施設を活用した内陸地震の研究と東濃における地域地震防災の研究の二本立てである。次表のように目標を設定し、研究を進めている。

### 2. 事業アウトカム

#### 2-1 全体の目標

深地層研究施設利用の有利な点は、岩盤内という観測環境の存在である。地表付近での観測はノイズとの戦いであった。得られた観測値が該当する地域を代表するかどうか疑問もあった。その解決には、大深度での高密度観測が必要である。観測手法の技術開発と並行して地震・歪・傾斜・地下水・地殻応力連続観測等を組み込んだ総合的な高密度観測研究により、地震発生にかかわる諸現象の定量的な観測・研究および地球物理学的手法による地下水流動の研究が本事業の最大の目標である。地震防災は、阿寺断層・屏風山断層等の巨大な活断層に囲まれた地元の要望である。地震発生危険度の研究はもとより、活断層の破碎帯による地震災害の増大が懸念される。また中山間地域での防災対策が平野部と同じでよいのかも疑問がある。この2点に対応して地震観測による地盤震動調査と事例調査による人的被害、行政対応研究等を目指す。

目標・指標 (H17～H28 第4次終了時)	目標・指標 (評価時点)	設定理由・根拠等
深地層高密度地殻活動総合観測による内陸地震の研究	高密度立体観測網の整備と観測地震に関わる地下水流動の観測プレート境界地震活動の観測	深地層研究施設の活用 東濃は内陸におけるプレート境界地震発生の場合
中山間地域における総合的な地震防災研究	東濃地盤震動特性の調査・解明 人的地震災害・行政対応調査 総合的な地震防災科学	軟弱地盤の特定等 地元の地震対応力の向上 現代都市地震災害への備え

#### 2-2 目標を踏まえた波及効果

本事業で既に開発され、現在も改良を継続している観測機器・技術は直ちに本研究所の観測網整備に利用され、蓄積されたデータにより多くの研究結果が得られ続けている。また、当研究所で開発したボアホール地殻活動総合観測装置は気象庁および産業技術総合研究所などに採用さ

れ東海、東南海および南海地震に関する観測のために 27 カ所の深部ボアホールに設置されている。それらのデータは地震予知連絡会等に毎回報告され重要な情報を提供しており、今後の地震研究において波及効果が大いに期待できる。一方、南アフリカの金鉱山においては 3km の深さに当研究所が開発した歪計が 20 カ所近く設置されており「やまはね」などの予知研究に役立っている。工学関係においてはトンネル掘削に伴う変形の観測などに歪計が利用されている。

また、2011 年東日本大震災に伴う人間被害の激甚性に関して調査研究した成果は、今後の社会的発展に伴う都市機能等における地震災害のリスク軽減や地震防災計画の立案に有用であろう。

### 3. 研究開発内容及び事業アウトプット

#### 3-1 研究開発内容

本事業では、深地層研究施設の地下空間および周辺ボアホールの活用を基本として観測施設等の整備を進めている。地下数百mを超える大深度は、降雨の影響もなく信号対雑音比にも優れ、高精度・高密度の地殻活動総合観測に最適な環境にある。地下空間の活用により、ボアホール観測機器・観測技術の開発研究も可能になるため、東濃地震科学研究所では、その面での権威がリーダーとなり、瑞浪市・土岐市を中心に観測網を整備し、観測研究を通じて先進的・独創的な技術開発を推進している。高感度応力計・歪計・傾斜計や各種計器を内蔵したボアホール地殻活動総合観測装置、その設置技術、データ伝送等について、国の内外で高く評価されるようになった。深地層における地殻活動総合観測装置・多成分歪地震計・応力測定装置等の技術は、現在では、気象庁、産業技術総合研究所等での観測に採用され、海外からもいくつか引き合いが来ている。2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) に関しては開発した連続観測用ボアホール応力計により世界で初めて応力地震動を記録することが出来た。

地震防災に関しては観測と災害調査の両面から推進している。平均間隔 2 km の高密度地震観測網は平成 12 年度に 50 点に達し、他に例を見ない施設となった。これにより複雑な山間地域での地盤震動調査が継続されている。この調査は、ウラン鉱床探査で岩盤深度が詳しくわかっている地域だけに、地震動増幅機構の研究に有用である。地震防災については、阪神淡路大震災の事例分析に始まる独創的な人的地震災害の研究、また中越地震等を事例にして行う地域密着型地震防災研究は、地域を絞って実施する綿密な実態調査から行政対応の研究まで、幅広く実施している。さらに、研究所で主催する地震防災に関する研究委員会は、全国関係者の総合研究・研究交流の場ともなっている。

平成 24 年度から始まった第 4 次計画の研究課題は以下の 4 課題としている。

- (1) 深地層・地下空間における観測機器・技術の開発および地下水流動研究
- (2) 深地層における地震発生関連現象の総合的研究
- (3) 活断層地域における内陸地震の発生機構に関する研究
- (4) 地域の地震防災に貢献する調査研究

また、上記 4 課題を基に以下の 6 項目のサブテーマを設け研究を実施している。

- (1) 地下深部空間を活用する技術の開発研究および立坑における観測研究
- (2) ボアホール総合観測システムの開発研究
- (3) 地下水流動と応力・歪・傾斜・地下水・重力などとの関連研究
- (4) 内陸地震とプレート境界地震の発生及び関連性に関する研究
- (5) 地震動の地域差に関する調査研究
- (6) 地域の地震防災に関する調査研究

#### 3-2 成果概要

##### 3-2-1 全体成果

全体計画は内陸地震の研究と地域に貢献する地震防災研究の 2 本立てである。

○今回は 3 カ所ボアホール観測点の増設ができた。異なる岩質への設置により、いろいろな情報が得られ地下水流動に関する新しい知見が得られた。

- 観測データの蓄積により、ボアホール計器の信頼性を調べることが可能になり信頼できる計器であることが明らかになった。
- それに加えて観測可能レンジが広く、直流からの応答に対応することにより今まで得られなかった情報が得られることも明らかになった。
- 立坑掘削による影響変動も応力計・歪計・傾斜計や水準測量により明らかになってきた。
- 御嶽山における水準測量を実施し、その後の活動を注視している。
- 立坑内の異なる深度における地震観測により深度と構造の関係を明らかにした。
- 地域地震防災の研究課題は、災害の原因となる「地盤震動」と結果である「震害と防災」の研究からなる。
- 超高密度地震観測網で得られたデータから東濃地域の地盤振動増幅特性を求める調査研究として、地域の「ゆれやすさ」を求める手法を開発し、東濃地域における「ゆれやすさマップ」を作成した。
- 表層地盤の影響の深さ依存性を調べるため立坑の異なる深さに地震計を設置し地震動の増幅特性の調査研究を進めている。
- 地域への地震情報発信の高度化に関する調査研究として地震観測記録から東濃地域の「ゆれ」を解析し、地域へ発信する地震情報にも活用している。
- 濃尾震災の被害資料の検討を地学的立地環境や社会環境からの考察を行った。
- 東濃地域では、上述した濃尾地震でも家屋倒壊が極めて少なく、過去の震災史から、地震災害を検討することは極めて困難である。上述の揺れやすさを行った自然環境と同時にこの地域の家屋の耐震化率や住民の年齢構成などの社会構造から被害想定を行うことが重要である。今年度は、その一つとして、町内単位で家屋の建築年数を検討し、東濃地域のハザードマップおよびリスクマップ作成をすすめた。

### 3-2-2 サブテーマ成果

#### 深地層・地下空間における観測機器・技術の開発および地下水流動研究

##### (1) 地下深部空間を活用する技術の開発研究および立坑における観測研究

###### ○瑞浪超深地層研究所における高密度・高速サンプリングの地震計アレイ観測

今年度は発破作業がなかったため H25 年度に観測・蓄積した高速サンプリングデータを用いて、瑞浪超深地層研究所の地震波速度構造をトモグラフィ手法により解析し地震波速度構造 (P 波) を得た。この解析には、JAEA が実施した 300m 研究アクセス坑道での逆 VSP 構造探査の記録も利用できたため、広範囲の地震波速度構造が推定できている。

###### ○制御震源の実用化と有用性の検証

平成 22 年度より本事業では、瑞浪観測壕内に超磁歪素子を用いた弾性波制御震源の開発と運用を行っている。本事業の主目的は制御震源の有用性の検証し、弾性波によりその挙動を明らかにすることである。平成 26 年度では時刻の問題を解決すべく、GPS 同期した震源装置を開発した。27 年度になってから、制御装置、記録計、信号設計など全て刷新した。その結果、TGR350 の地震計でも明瞭な弾性波信号を観測することができた。平成 28 年度には、発震効率の良いシングルフォース震源に改造することで、遠方での観測が可能となり、周辺のボアホール観測点 (TGR350 や TRIES) および瑞浪壕内に設置したアレイ地震計での連続観測を開始した。平成 28 年 4 月からの連続観測では、熊本地震 (2016/04/16 M=7.3) に伴い、直接 P 波のステップ状の走時遅延が TGR350 (約 25  $\mu$ s 遅延) と TRIES (約 60  $\mu$ s 遅延) で観測された。これらは、土岐花崗岩内のクラックが開くことによって P 波速度が低下したためと考えられる。

###### ○重力計鉛直アレイ観測と絶対重力計の検定及び観測実験

連続観測用相対重力計 gPhone#90 を地上の瑞浪地科学研究館測定室に、gPhone#130 を瑞浪超深地層研究所 (MIU) 深度 100m 予備ステージに、設置しての鉛直アレイ観測を行った。その後、連続観測用相対重力計 gPhone#130 は瑞浪超深地層研究所深度 300m 研究アクセス坑道 100m 計測横坑にて、順調にデータを蓄積している。国土地理院主催の国内絶対重力計比較が催され、国土地理院、産総研、東大地震研、京大などが絶対重力計を持ち寄って同時測定を行った。

その結果、TRIES 所有の#225 は妥当な測定値を得ることが確認出来た。

### ○重力観測と水準測量による地下水流動研究

隣接する超深地層研究所では坑道を維持するために現在も日に 700ton 以上の排水作業が継続する。この排水に伴い、掘削以降に、近接する坑井や水準点では、70m の地下水位低下と 2cm の沈降が観測された (Kimata et al, 2015)。この沈降がどの範囲まで起きているかを明らかにし、湧水がどこから供給されるかを議論するために、2012 年に水準路線を延べ 32km、5km×5km の領域まで拡張した。その後も 2015 年まで毎年、直営事業で精密水準測量を実施した。

絶対重力計と相対重力計による観測も併せて行っている。

### ○東濃地震科学研究所周辺岩盤の間隙弾性的ふるまいについて

当研究所で展開しているボアホール総合観測装置は応力計、歪計、傾斜計、磁力計、地震計などを搭載しており多種類のデータが蓄積されている。このような場において変動に伴うデータを記録することにより間隙弾性体的ふるまいや地下水流動に関して調べた。これらのデータを解析することにより間隙弾性体に関していろいろ明らかになってきた。主な結果は以下のようである。

1. 間隙弾性体のモデルを構築した
2. 弾性体が原因の間隙圧の変化と間隙圧が原因の弾性体の変化の相違
3. 間隙の形とその分布
4. 湧水・揚水による水位変化と断層の動きとの関連性があること

### ○応力計の有効性の検証 -理論潮汐との比較-

東濃地震科学研究所で開発された応力計は筐体のステンレス管と応力計センサー部が切り離されているため、ステンレス管の変形の影響を直接受けることはなく、測定結果の信頼性が飛躍的に向上すると期待される。応力計センサー部は圧力で較正されており、センサー出力は応力に換算可能である。しかし、その出力は応力計設置にともなうボアホール掘削とモルタルで周囲を充填したステンレス管からなる力学的インクルージョンの影響から逃れた遠方の応力変化ではない。地球科学者や岩盤工学研究者が知りたい応力変化、すなわち後者の遠方応力変化を知るためには、この力学的インクルージョン問題を解く必要がある。この問題の解決を試みた。

### ○ 応力計の観測レンジについて - STS 地震計との比較-

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震 (M9.0) においては日本中の STS 地震計はほとんどすべてスケールアウトとなり最大振幅は記録することができなかった。しかしながら当研究所の複数の応力計・歪計は最大振幅も含めて全て良好に波形を記録することができた。海で発生した大きな地震の場合には長周期成分の記録がスケールアウトせずに記録できることが大きな津波発生を判断するうえで重要である。そこで当研究所で観測した STS 地震計と応力計・歪計の観測レンジを比較検討するとともに応力計・歪計はどこまで大きな変動も記録できるのか検討した。応力計は高感度成分においても STS 地震計よりも 10 倍以上のダイナミックレンジを有していることなどが明らかになった。

### ○瑞浪超深地層研究所立坑内および周辺域で観測された熊本地震に伴う間隙水圧・地下水位変化

2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分に発生した平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (Mj7.3) の地震動に伴う指数関数的な間隙水圧/地下水位変化が、震源距離 665km の瑞浪超深地層研究所 (MIU) 内観測点 STG200N、STG200 および MIU の南約 500m に位置する戸狩観測点 TGR350 で観測された。

地震に伴う間隙水圧変化および水位変化はそれぞれ 6 月 5 日にピークに達し、STG200N で 30.0kPa、STG200 で 28.0kPa まで水圧が上昇しその後減少、TGR350 では 2.3m まで水位が上昇しその後低下している。これらの観測点で通常観測される間隙水圧の潮汐応答はほぼ同じであることが明らかになっているがこれらの変化を説明するモデルについて検討した。

### ○JAEA 深度 500m 再冠水試験後の応力・歪・水圧・水位記録

JAEA の超深地層研究所計画では、「坑道埋め戻し技術の開発」の一環として深度 500m 研究アクセス北坑道において、坑道埋め戻し試験に先立って坑道の一部を閉鎖し地下水により冠水させる「再冠水試験」を実施している (笹尾、2016) 東濃地震科学研究所は、瑞浪超深地層研究

所立坑内深度 100m、200m、300mの各ステージにそれぞれボアホール観測点を整備し地球物理学的各種観測を行っている。再冠水試験に伴い観測されたデータを解析・考察した。

## 深地層における地震発生関連現象の総合的研究

### (2) ボアホール総合観測システムの開発研究

#### ○ボアホール地殻活動総合観測システムの改良

昨年度に引き続き、陶史の森観測点、日吉観測点および正馬様観測点に埋設・設置したデジタル式地殻活動総合観測装置（光伝送・連続観測型応力型）の観測システムの改良を行った。デジタル式地殻活動総合観測装置の地上装置部の一つである「コマンド発行・データ送受信装置」は 19 インチラックに収納することを前提とした幅 483mm、奥行き 475mm、高さ 88mm の設置面積の大きなものであった。瑞浪超深地層研究所の坑道内や瑞浪観測坑道などの限られた設置スペースに設置が行えるよう、基本性能は変えずに寸法を幅 483mm、奥行き 365 mm、高さ 88mm) と奥行き在省スペース化を行ない、かつ、周辺機器等からの外来ノイズに対する遮蔽性を高め、安定した機器の動作が行えるように改良を行った。

### (3) 地下水流動と応力・歪・傾斜・地下水・重力などとの関連研究

#### ○地殻活動連続観測から見る瑞浪超深地層研究所周辺の地下水流動

瑞浪超深地層研究所では立坑掘削や試錐孔における水理試験、観測装置の出し入れによって坑道内に毎分数十リットルから数百リットルといった大量湧水が生じている。この大量湧水は土岐花崗岩中の間隙水圧の擾乱を生じさせ、立坑およびその周辺域の間隙水圧状態を変化させている。8月21日13:30 から 15:30 の間に深度 300m ボーリング横坑（換気立坑側）にある既存水圧観測孔からモニタリング装置の撤去作業（孔口の開放）と作業終業後の孔口の閉鎖を行い、翌日の 22 日 8:00 より再度モニタリング装置のパッカー圧を調整し、15:00 に孔底止水を行った。この作業によって深度 300m 周辺の土岐花崗岩中の間隙水圧変化が変動し、深度 300m ボーリング横坑（換気立坑側）の直上 100m に位置する STG200 観測点の水圧変動（STG200 GWP；振幅約 60~80kPa）を生じさせたと考えられる。

この水圧変動に伴って MIU の南約 500m の TGR350 の水位（TGR350 HGWL；深度 120m 以深の花崗岩中の圧力水頭）にも影響が出ている。TGR350 の孔底に埋設・設置した石井式ボアホール歪計の記録にも間隙水圧変化の影響が記録されている。一方、MIU の北西約 1 km に位置する正馬様 105m 孔の水位と水平および垂直応力記録には MIU 掘削による振幅 60~80kPa の水圧変動の影響が出ていない。

すなわち、MIU で生じた土岐花崗岩中の間隙水圧擾乱（振幅 100kPa 以下）は距離約 500m 離れた TGR350 観測点では水位および歪記録に影響を及ぼしているが、距離約 1 km の正馬様 SBS105 観測点の水位及び応力記録には影響が及んでいないということが判明した。

#### ○正馬様 105m 観測孔における応力連続観測

瑞浪超深地層研究所（MIU）立坑掘削の影響がどのように、かつ、どの範囲まで及んでいるかの調査・研究を行うことを目的として、平成 25 年度末に正馬様用地内にある東濃地震科学研究所の既存 110m/16m/4m 孔（SBS110 / SBS16 / SBS4）の近傍に、105m 孔（SBS105）を整備し、石井式ボアホール応力計（以下応力計と略）孔底付近の岩盤状況の良い箇所へ埋設・設置、地殻内応力の連続観測を開始した。応力計の性能評価の一つとして南米で発生したチリ地震（2014/4/2 8:46 JST；Mw8.2）の応力地震波形に関して水平応力計記録の異なる水平直交 2 成分から得られる「不変量」の時系列比較を行った。これらの結果は、正馬様観測点 105m 孔に埋設・設置した応力計は正しく動作していることを示しており、そのダイナミックレンジは、正馬様 105m に埋設・設置した計器に関しては 0.1kPa から水圧感度検定時の 2MPa までと広範囲であることが確認された。同様に陶史の森および日吉観測点の応力記録の不変量時系列の解析を行い、それぞれ 0.1kPa から 13MPa までの広ダイナミックレンジであることを確認した。

#### ○重力観測による地下水流動研究（1）

時定数が異なる以下の 2 つのアプローチを行っている。1 つは、連続観測用相対重力計の 1 時間分解能を活かした降雨を主要因とする短期的陸水応答の評価及びその低減手法の研究である。

もう一つは、絶対重力計による繰り返し測定による、月～年オーダー以上の時間変動の成因となる長期的地下水流動の研究である。降水の影響については上述の我々が進める独自の補正方法を評価するために、国内外の幾つかのグループが実施している陸水学的モデルに基づく補正方法を東濃の観測点にも改良しつつ適用を試みている。重力値変化と複数の観測井戸での地下水位変化データに基づいて地下水流動モデルの構築を行い、現在モデルの検証を進めている。このモデルと絶対重力観測データをより正確に関連付けるために地下構造探査を進めている。

#### ○水準測量による地下水流動研究

2004 年から超深層研究施設の掘削作業に伴う地殻上下変動を明らかにし、地下水流動との関連を明らかにするために、掘削坑周辺で水準測量を実施してきた。その結果、排水作業による地下水位低下に対応し、最大で 2 cm ほどの沈降が検出された。

そこで、地下水流動をより明確にするために、水準路線を 2012 年に周辺域に拡張し、水準測量を毎年行ってきた。観測井での水位変化との関連、地下水流動の議論などは今後の課題である。

#### ○地殻活動研究委員会

新しい研究分野の開拓を目的として地殻活動研究委員会の活動を継続している。平成 26 年度は第 1 回を瑞浪地科学研究館、第 2 回を瑞浪国際地科学交流館で開催した。第 1 回は平成 26 年 7 月 29 日（火）～30 日（水）、出席者は 21 名、オブザーバー 2 名で 13 篇の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 5 編である。第 2 回は平成 26 年 12 月 8 日（月）～ 9 日（火）、出席者は 22 名、オブザーバー 1 名で 13 篇の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 5 編である。平成 27 年度は第 1 回目と第 2 回目を瑞浪地科学研究館で開催した。第 1 回は平成 27 年 9 月 12 日（土）～13 日（日）、出席者は 23 名、オブザーバー 1 名で 16 編の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 6 編である。また、第 2 回は平成 27 年 12 月 10 日（木）～ 11 日（金）、出席者は 15 名、オブザーバー 2 名で 15 編の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 8 編である。成果出版については、平成 27 年度分を東濃地震科学研究所 Seq. No. 36 にまとめた。平成 28 年度は第 1 回目と第 2 回目を瑞浪地科学研究館で開催した。第 1 回は平成 28 年 8 月 22 日（月）～23 日（火）、出席者は 21 名、オブザーバー 3 名で 19 編の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 9 編である。また、第 2 回は平成 29 年 1 月 19 日（木）～20 日（金）出席者は 20 名、オブザーバー 3 名で 17 編の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 9 編である。成果出版については、平成 28 年度分を東濃地震科学研究所 Seq. No. 38 にまとめた。

#### ○3.11 地震による気圧地震動から求めた上下変動

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）に関して当研究所の深部ボアホール最深の深度 1030m 観測網（震央距離：約 600km）の地震計、応力計、歪計などで良好な地震記録が観測された。その他に気象観測用の複数の気圧計（横河電子製 F4711）にも気圧地震動が記録されている。今回は記録された気圧地震動と上下変動との関係を調べた。綿田ほか（2006）が確認したように気圧変化は上下変動の速度に比例していることが確認された。また、上下変動は気圧変化の積分と一致することも新たに明らかになった。

#### ○200 m ステージ新規 18m 孔整備と応力計の埋設・設置

平成 27 年度以降に JAEA が予定している MIU 深度 500m 研究アクセス北坑道冠水坑道における「再冠水試験」によって生じる冠水坑道周辺の間隙水圧回復過程（水圧、応力）の連続観測を行うことを主目的とし、2015 年 6 月より MIU 深度 200m ボーリング横坑（換気立坑側）にある既存 STG200 ボアホール観測点（TRIES 観測点）に隣接して新規 18m 孔を掘削した。掘削終了後岩盤状況を確認し、計器先端の深度を 17.190m（土岐花崗岩中）として TRIES が開発した石井式ボアホール応力計（特許 4976534 号）を埋設・設置した（観測点名 STG200N;）。応力計の記録（原サンプリング 20Hz）はインターネット回線を通じて TRIES のデータベースサーバーへリアルタイムで送られている。

#### ○東濃鉦山再冠水に伴う地下水／歪変化

東濃鉦山（日本原子力研究開発機構）内に BH-1 観測点がある（坑道からの深さ 50m のボアホール；坑道の深度は GL-125m）。ボアホール孔底の土岐花崗岩内に地殻活動総合観測装置（石

井式ボア ホール歪計 3 成分、傾斜計 2 成分、温度計) が埋設・設置されている。東濃鉱山では閉山措置が進められており、2012 年 3 月に地下坑道の充填作業(埋め戻し)を開始、2014 年 12 月 9 日に東濃鉱山坑道内に設置されていた排水ポンプの停止。この時点から坑道内の冠水が始まった。坑道の充填作業は 2015 年 3 月に坑道の閉鎖が完了している。排水ポンプ停止の時点では BH-1 の歪計各成分に大きな変化は見られなかった。12 月 27 日 18 時 50 分頃から BH-1 歪計各成分に急激な歪の縮みが始まり、急激な変化が終息の傾向になった。その過程における歪・傾斜変化、水位変化などのデータを用いて解析した。

#### ○重力観測による地下水流動研究(2)

時定数が異なる以下の 2 つのアプローチを継続している。1 つは、連続観測用相対重力計の 1 時間分解能を活かした降雨を主要因とする短期的陸水応答の評価及びその低減手法の研究である。もう一つは、絶対重力計による繰り返し測定による、月～年オーダー以上の時間変動の成因となる長期的地下水流動の研究である。最近 5 年間の上下変動を選択し、東北地方太平洋沖地震の影響が充分小さいと見える山陰地方を固定点とすると、瑞浪付近は約 4cm 隆起(コサイスマック変動を含む)と読み取れる。4cm の隆起による重力効果はブーゲー勾配を適用すると約  $9 \mu \text{Gal}$  の重力低下となり、地震直前からの重力差の多くは説明出来る。

#### ○地震波速度変化の研究

##### 1) ボアホール観測網のデータを用いた東北地方太平洋沖地震による地震波速度変化の研究

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0、以下、東北地震)の際には、東濃地域では震度 3 の揺れを感じ、地下水や歪などの地殻活動観測データや弾性波アクロスによる走時観測データに大きな変化が検出された。この研究では、東濃地震科学研究所のボアホール観測網のデータを用いた解析を、弾性波アクロス信号のみならず歪・応力計データについても進めた。その結果、この地域の基盤岩(土岐花崗岩)のクラック異方性の存在と、東北地震に伴うクラック異方性の変化が明瞭に捉えられた。

##### 2) 東濃鉱山の坑道閉鎖後の再冠水による地震波速度変化の研究

弾性波アクロス土岐送信所(名古屋大学)が設置されている東濃鉱山(日本原子力研究開発機構、岐阜県土岐市)では、2012 年 3 月から地下坑道(本延坑道は GL-125m)の充填作業が開始され、2014 年 12 月 9 日に排水ポンプを停止、2015 年 3 月には坑道の閉鎖が完了した。排水ポンプ停止後、充填坑道内では再冠水が始まり、弾性波アクロス信号の観測でも S 波速度の顕著な変化が検出された[國友・他(2015)]本研究では、S 波速度の変化の詳細とその原因となる地下水流動や岩盤中のクラックの状態の変化についての調査を進めた。

#### ○周辺岩盤の違いによる応力・歪みのふるまいの研究(瑞浪観測坑道内新規 17m 孔整備と応力計の新設)

平成 27 年 8 月より JAEA が行っている瑞浪超深地層研究所深度 500m 研究アクセス北坑道冠水坑道における「再冠水試験」によって生じる冠水坑道周辺域の間隙水圧回復過程とそれに伴う瑞浪層群(堆積岩)内の応力変化の連続観測を行うことを主な目的として、平成 28 年 11 月より瑞浪観測坑道内に新規 17m 孔を掘削した( $\phi 123\text{mm}$ 、掘削深度 16.7m)掘削終了後岩盤状況を確認し、計器先端の深度を 16.400m(瑞浪層群中)として TRIES が開発した石井式ボアホール応力計(特許 4976534 号)を埋設・設置した(観測点名 MZN17)。応力計の記録(原サンプリング 20Hz)はインターネット回線を通じて TRIES のデータベースサーバーへリアルタイムで送られており、良好な記録が蓄積されている。今後の周辺岩盤の違いによる応力・歪のふるまいの相違の研究が期待される。

#### ○重力と上下変動の観測による地下水流動と岩盤の力学的応答の調査研究

絶対重力計と相対重力計を結合して、地下水流動に関連した研究を引き続き行った。平成 19 年から進める瑞浪超深地層研究施設における絶対重力の変化、観測範囲を広げた水準測量による上下変動から、地下水流動と岩盤の力学的応答のより詳細な研究を継続した。研究所近傍の地下水位低下と地盤沈降の間には非常に高い相関がみられた。

#### ○東濃鉱山の坑道閉鎖後の再冠水による地震波(S 波、P 波)速度変化の研究

弾性波アクロス土岐送信所(名古屋大学)が設置されている東濃鉱山(日本原子力研究開発機構、岐阜県土岐市)では、2012 年 3 月から地下坑道(本延坑道は GL-125m)の充填作業が

開始され、2014年12月9日に排水ポンプを停止、2015年3月には坑道の閉鎖が完了した。平成27年度の事業報告では、ポンプ停止後、充填後の地下坑道内では地下水位が上昇し、ほぼ同期する形でBH-1号孔（本延坑道から約40m下）での歪変化（短縮）が観測されたこと、また、それらとほぼ連動する形で、98SE-01号孔でS波走時が約4ms低下するのが観測されたことを報告した。これらの現象は、充填坑道への再冠水による間隙水圧の上昇とクラックの開口により説明できる。

本年度の研究で特筆すべきは、P波の走時変化である。ポンプ停止後の2014年末ないし2015年初め頃からは、全ての観測点のP波走時が遅延を示しているが、北方（HYS、N.YOTH）および南方（TOS）の観測点では、2014年中頃から走時が徐々に早くなっており、2014年末ないし2015年初め頃には0.5~1.0ms程度早くなっている。これらの原因を考察し解釈した。

## 活断層地域における内陸地震の発生機構に関する研究

### （4）内陸地震とプレート境界地震の発生及び関連性に関する研究

#### ○GPS記録と応力連続記録による2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の断層モデルの再検討

国土地理院のGEONETのGPS1秒サンプリング記録と、東濃地震科学研究所の陶史の森観測点の応力連続記録を用いて、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の断層モデルの再検討を行った。主たる目的は次の3点である。逆解析の解の一意性を上げるには異質の記録を併せ用いれば良いことは一般に知られていることであるが、東北地震についてはその様な試みはない。東北地震について応力記録という異質の連続記録を併せ用いることによって解の分解能を上がるかどうかをチェックした。

主地震断層モデルによって、陶史の森の応力記録の主要動の最初のパルスは説明出来るが、後続パルスはまったく説明できない。そこで副パルスと応力記録の後続パルスを説明する副地震断層モデルを求めた。その結果、走向N145E、ほぼ垂直面上の左横ずれ型、気象庁発震時から65秒後に破壊が始まり、ほぼ30秒かけてMw8.4に匹敵するモーメントを解放する断層モデルが求まった。

#### ○岐阜県東濃地震科学研究所地下で発生するスラブ内地震・南アフリカオークニー内陸地震の解析

岐阜県東濃地域ではしばしば有感地震にみまわれる。これらは2011年岐阜県美濃東部の地震（2011年12月14日13時01分M5.6:東濃地震科学研究所）をはじめとして、東濃地域下を震源とする沈み込んだフィリピン海プレートの内部で発生する正断層型の地震である。H26年度はベトナムより地震学、地震観測を専門とする研究者を招聘し、震源、発信機構、相対精密震源分布の解析を行った。加えて南アフリカのオークニーの鉾山地下で2011年上述の岐阜県美濃東部地震と同規模の内陸地震（M5.5）が2014年8月5日に発生した。オークニー地域では鉾山内の地震計ネットワークに加えて、CGS（council of GeoScience）が約5km間隔で設置した地表観測が利用できる。立命館大学との共同研究を利用してこの地震解析にも参加した。

#### ○阿寺断層系重点地震観測

平成18年より東濃地震科学研究所では、断層を通過する地震波の特徴を解明するため、岐阜県中津川市加子母地区および下呂市大鹿野地区において、北部阿寺断層系を横断するように設置した地震観測点で1984年長野県西部地震の余震による地震動を観測している。2014年御嶽山噴火によるものであると考えられる大きな振幅をもつ地震動が観測された。地震波形記録からは大きな被害を出した主となる噴火以前にも火山噴火を予見させるような地震活動が非常に活発であったことが見て取れる。

本事業は本来、断層の地震波透過特性の解明という目的で開始しているが、今後は阿寺断層系の地震活動や応力状態の監視、御嶽山の火山活動、そして長野県西部地震のような内陸地震の研究のため、継続して観測を行って必要がある。

#### ○御嶽山噴火に伴う重力・GPS観測

TRIESはGPS連続観測点を御嶽山南東斜面（標高約1500m）に設置しているが、2013年春頃以降はアンテナ故障によるデータ取得率低下が続いた。また、FG5絶対重力計による繰り返

し測定も近年は FG5 の不調により瑞浪以外での観測を中断していた。しかし 2014 年 9 月 27 日の御嶽山噴火を受け、これらの観測再開に着手した。重力観測はメーカーメンテナンスを経た FG5 絶対重力計と SchintrexCG3M 相対重力計を用いたハイブリッド測定（絶対重力計による基準点構築とそこを基点とした相対重力計による多点測定）を実施した。

#### ○御嶽山における重力と上下変動の観測による火山活動の調査研究

2014 年の御嶽山噴火以降、重力機動観測は御嶽山周辺を優先している。今年度は夏季に絶対重力測定と相対野外重力測定の同時観測（いわゆる、ハイブリッド重力測定）を 1 回実施し、相対重力連続観測（田の原及び八海山）は設置場所の都合による移設待ちの期間を除いて継続した。ハイブリッド重力測定は、8 月に実施した。この内、絶対重力測定（Microg LaCoste 社製 FG5#225）については、H27 年度「御岳ゴルフ&リゾートホテル（OGR）」の地下室で行い良い測定環境である事が確認出来たが、山体直下の密度変動検出を目的とするにはやや離れすぎているため、田の原（御岳観光センター避難所、TNH）で行った。

2014 年噴火以降、本研究も御嶽山における上下変動に基づく圧力源の動向の調査研究に参加する。H28 年も御嶽山の水準測量に加わり、上下変動を観測した。その結果、御嶽山では、① 噴火時に観測された圧力源の収束が極めて一時的で、現在すでに終息していること、② 新たな大規模な熱水やマグマの貫入が振興していないことが明らかになった。

#### ○3 次元アレイ観測によるプレート境界に発生する深部低周波地震の研究

内陸地震の発生には、プレートの沈みこみ運動が関連している。フィリピン海プレートが沈み込んでいる東海地域からの西日本では、海溝型巨大地震の発生だけでなく、内陸下の深部でスロースリップや深部低周波地震（LFE）が発生している。LFE は微小で、初動が不明瞭であることにより、その発生原因は不明で、通常な観測では正確な震源決定も困難である。そのため豊田市下山地区周辺に地震計を 10 台配置し、アレイ観測（SMY アレイと呼ぶ）を行い、LFE の検知能力を向上させた。平成 28 年度はそれら観測データの解析に努め、高精度の震源決定に挑戦した。すなわち、この SMY アレイのデータと他機関の観測データと併合し、600m 深のボアホール型地震観測点をもつ 3D アレイを構築し、その観測データの解析を進めた。その結果 LFE と普通地震の震源は、3D アレイの直下では深さ約 36km を境にして上下に分かれていて、両者の発生場所は明らかに違うことが分かった。

#### ○北朝鮮の核実験による地震波の観測

2016 年 9 月 9 日に北朝鮮により地下核実験が行われた。当研究所の観測計器は、この核実験に伴う地震波形を複数の観測点で観測した。2016 年 1 月 6 日や 2013 年 2 月 12 日にも核実験は行われている。3 回の実験で、同一観測点の同一計器で観測した地震波形を比較した。3 回の実験の波形の位相がよく合致していることから、震源はほぼ同一と考えられる。また 2016 年 1 月の波形に比べ、振幅は 1.5 倍程度であった。

#### ○房総半島先端部で生じた周期 15-20 秒のハイパーレゾナンス

2011 年東北地震の時に得られた GPS 1 秒サンプリング記録の解析を行った。2011 年東北地震の時に房総半島南端と三浦半島で、地震学が経験したことのない、周期 15 秒～20 秒、振幅 1 m の巨大なハイパーレゾナンスが生じたことが分かった。現時点では原因は分からない。それ以外にも、千葉県中央部で生じた周期 10 秒～15 秒、荒川沈降帯で生じた周期 5 秒～10 秒のレゾナンスが、GPS 1 秒サンプリング記録で良く認識できた。荒川沈降帯の周期 5 秒～10 秒のレゾナンスは、いわゆる長周期地震動に対応する。

#### ○精密水準測量によって検出された御嶽山 2014 年噴火後半年間の上下変動および 2014 年噴火の準備過程

2006 年から 2014 年の水準測量データを用い、2014 年噴火に至る噴火準備過程の解明を試みた（Murase et al. 2016）。過去の水準測量結果から上下変動の時間変化を検討すると、2006 年以降は山頂方向の隆起を示す変動パターンであることが明らかとなった。2007 年の小噴火後も、その隆起は沈降に転ずることはなく、2009 年まで隆起傾向が継続している。短い区間の測量ではあるが 2013 年の測量結果からも、山頂方向の隆起が 2013 年まで継続していたことが示唆

される。そして、2014年噴火をはさむ2009-2014年の測量では、山頂方向の沈降が検出された。

#### ○東濃地震科学研究所地方直下におけるフィリピン海プレートの沈み込むスラブ内の地震発生メカニズムの解明

2014年にベトナムの地球物理学研究所と学術交流協定を提携し、同研究所より2014年度に2名、2015年度に1名の研究員を招聘し、本研究所で観測した地震データを整理解析し、東濃地震科学研究所地方直下におけるフィリピン海プレートの沈み込むスラブ内の地震発生メカニズムの解明を共同研究として取り組んできた。解析の結果地殻浅部では収縮場であり、一方、プレートスラブ内が伸張場にあることを示唆する結果が得られている。

#### ○2014年長野県北部の地震による長周期地震動

大地震の発生により内陸の特に盆地構造では、長周期地震動が卓越することが知られており、1985年メキシコ・ミチョアカン地震によるメキシコシティでの例が有名である。

本研究所で設置しているボアホール型の高感度ひずみ計の記録では、2014年長野県北部の地震のP波とS波の間にも長周期なフェーズが観測されていた。このような長周期なフェーズは東北沖の地震でも観測されており、この長周期なフェーズの成因について研究を進めている。

この観測事実は、ひずみ記録による長周期地震動の早期検出が可能であることを示唆している。

#### ○2014年御嶽山噴火前における割石温泉(岐阜県飛騨市)の間欠泉でのガス噴出回数の増加

地震活動に伴う温泉での湯量増加や震動、間欠泉周期の変動を捉える目的で、岐阜大学が割石温泉(自噴泉、岐阜県飛騨市)などで1998年から電磁流量計を用いて湯量などの観測を開始し、現在は東濃地震科学研究所が引き継いでいる。これまでに、周辺域での地震発生に伴い湯量が増加し、その後、緩やかに減少する現象がしばしば観測されてきた。2014年9月の御嶽山噴火では顕著な湯量増加は観測されなかったが、自噴時のガス放出回数が2014年8月から確実に増加し、噴火でピークに達し、その後に減少したことが観測された。

#### ○地球を周回してきた巨大表面波によるダイナミックトリガーの可能性

地球を周回してきた巨大表面波によるダイナミックトリガーの可能性について調べた。東北地震の直後、数MPaの激烈地震動が震源域を揺らし、多くのM5.5以上の余震を誘発した。それから2分ほどして中部地方に到達した巨大地震動(弱)は、飛騨山脈の焼岳や立山、箱根、神津島などの火山帯で最大5弱の誘発群発地震を起こした。50分ほどすると、震源域でも、中部地方でも、地震活動は低下した。

しかし、東北地震のほぼ1時間半後から3時間後に帰ってきた表面波が通過中は震源域のM5.5以上の余震活動は再活性化したが、それらが通り過ぎた後、再び余震活動は低下した。これは、地球を1周してきた巨大な表面波による余震活動の再活性化(トリガー)の世界で最初の観測である。この研究において、次の2点で、応力計記録は決め手になった。第一に、多くの長周期地震計がスケールアウトしている中で、震源から放出された1MPa近い巨大な地震動を完全に記録していたことである。

第二に、余計な換算の煩わしさ無しに記録から直ちに応力が分かることは大変理解の助けになったことである。

#### ○P波とS波の間で観測される長周期地震動

本研究所で設置しているボアホール型の高感度歪計の記録に、P波とS波の間に長周期な変動が観測されることがある。2015年5月に宮城県沖で発生したMw6.8のイベントの際にも、歪計や応力計に長周期な変動が観測されていた。S波よりも先に到達していることから震源から観測点までの構造に起因するP波由来の波であると想定される。同じ宮城県沖のイベントについて、F-net観測点の速度波形鉛直成分を見ると、震央距離600km程度からP波初動とほぼ同時刻に到達する長周期な変動が顕著になり、震央距離約1400kmの観測点でも同様な変動が観測されていた。このような長周期な波が観測されるイベントのマッピングを現在進めている。

### 地域の地震防災に貢献する研究

#### (5)地震動の地域差に関する調査研究

##### ○地域の「ゆれやすさ」

東濃地域における「ゆれやすさマップ」の推定確度の向上と汎用化を目指し、平成26年度は日本全国での「ゆれやすさ」の推定を行った。はじめに気象庁の震度カタログを用いて、司・翠川（1990）による震度の距離減衰式について再解析を行い、式のもつ物理的意味を解釈した。次に、気象庁の震度カタログと距離減衰式から、地震による地域ごとのゆれやすさを計算し、統計処理することで日本全国「ゆれやすさ」分布を推定した。

#### ○高密度地震観測網による地震動特性の研究

担当研究者の退任のため、実際の観測に基づく地震動特性の研究は進捗できなかった。しかし、気象庁などが実施する強震計記録から、東濃地方の地震動特性を考察した。

最近15年ほどに東濃5市で観測された震度3以上の有感地震回数を比較すると、瑞浪市がもっとも少なく7回、隣接する恵那市がもっとも多く26回に達した。恵那市は瑞浪市に対して4倍もゆれやすいことになる。しかし、恵那市での有感地震観測点を調べると、上矢作町のみで観測されたものがほとんどである。恵那市がゆれやすいのではなく、恵那市上矢作町がゆれやすいのである。地震動特性を議論する上で、このようなサンプリングエリアのサイズも考慮しなければならないことが再認識された。

#### ○東濃地方における地震動の増幅特性の調査研究

平成28年度より超深地層研究所ステージにおける常時地震観測のデータ収録を再開した。

一般に、観測される地震波には、震源の影響・伝播経路の影響・表層地盤の影響の情報が含まれている。このうち、表層地盤の影響については、地震発生に伴う強震動による時間変化が観測されることが報告されている（Rubinstein and Beroza, 2005; Sawazaki et al. 2006 など）。しかし、その多くはボアホール孔底と地表の2点における観測であり、表層地盤の変化の深さ分布を調べた研究はほとんどない。そこで、再開した各ステージにおける地震観測により、表層地盤の影響の深さ依存性を調べるために、自然地震による観測事例の集約を行っている。

### 地域の地震防災に貢献する研究

#### (6) 地域の地震防災に関する調査研究

##### ○地域への地震情報発信の高度化に関する調査研究

東濃地震科学研究所では地殻活動総合観測として様々な観測を実施している。平成26年度も引き続き観測記録に欠落が出ないように運用を行った。これらのうち地震観測記録は東濃地域の「ゆれ」を解析し、地域へ発信する地震情報にも活用している。まず解析にかかる時間を短縮し5分ごとの情報発信を試行した。一方、地震観測網を利用する研究の一つである、地域の「ゆれやすさ」に関する研究には一通りのめどがたった。今後情報の確度を上げるためには、追補的な観測は必要と成るであろうが、現状の様な高密度で、常設の観測網である必要はないと考えられる。

##### ○濃尾震災の被害資料の検討（地学的立地環境や社会環境からの考察）

1891年濃尾震災は最近にこの地域を襲った最大規模の地震災害と同時に、300人規模の村落での災害状況が詳細に保存されている。この被害資料は次の地震防災に重要な情報をもたらすものである。そこで、当時の被災状況をGISソフトにより表現し、被害の特徴を明らかにし、表層地質などと比較検討した。

##### ○東濃地域のハザードマップおよびリスクマップ作成

東濃地域では、上述した濃尾地震でも家屋倒壊が極めて少なく、過去の震災史から、地震災害を検討することは極めて困難である。上述の揺れやすさで行った自然環境と同時にこの地域の家屋の耐震化率や住民の年齢構成などの社会構造から被害想定を行うことが重要である。

今年度は、その一つとして、町内単位で家屋の建築年数を検討してみた。

##### ○地震津波に伴う死者発生研究

今までの調査・研究を通じて、地震（津波）に伴う死者の年齢依存特性が意外に多様であることを明らかにしてきた。その一方で特筆すべきパターンが2つあることも判った。すなわち、横軸に年齢を右に向けて昇順にとり、縦軸を死亡率とした座標上でみた場合、その一つは英語大文字のU字型であり、他の一つはやはり大文字のJ字型である。特に、2011東日本大震災に

においては後者、すなわち J 字型となる地域が多いことを確認した。そうだとすると、災害弱者といわれる乳幼児の死亡率が高齢者に比べて格段に低いこととなり、このままでは一寸理解し難い。そこで、本論ではこの問題に注目し、2つの異なる視点から考察した。1. 平常年死亡率との対比から 2. 余命年数損失の視点から。

#### ○地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会

地震防災分野では従前から 2 大課題「激甚地震災害研究」と「地域地震防災研究」を主軸とする研究を進めてきた。この枠内で平成 25～27 年度の 3 年間の活動を「地域地震防災基準に関する基本問題の解明」におき、「通常の研究活動」と「研究委員会が中心となる活動」を推進している。研究委員会を中心とする課題は「実践的地震防災活動」であり、本年度が最終年度となっている。研究委員会を平成 27 年 12 月 5 日、6 日の 2 日間東濃地震科学研究所にて開催した。研究委員 (8 名)、招待講演 (2 名)、オブザーバー (2 名) そして委員会事務局 (4 名) の合計 16 名が出席し、話題提供は 12 名からあった。研究委員会メンバーからは、実践的防災活動：2 名、防災教育：2 名、激甚災害：東日本大震災や阪神・淡路大震災を事例とした 3 名の報告 (死者の年齢別特性、鉄道運休と震度との関係、消防救助活動)、災害史料の分析：2 名 (海外の避難関係文献、津波碑からのメッセージ) の発表があった。

基本問題研究委員会を H28 年度は瑞浪市で 2 回開催した。第 1 回は平成 28 年 7 月 30～31 日に、第 2 回は同年 12 月 3～4 日に行い、それぞれ委員を含め 30 名と 25 名が参加し、研究成果の発表と議論を行った。成果出版として、2 回の委員会での研究発表を中心に 13 編の論文と報告を平成 28 年度分の東濃地震科学研究所 Seq.No.39 にまとめた。

#### ○地域への地震情報発信の高度化および地震動特性の地域的相違に関する調査研究

東濃地震科学研究所では地殻活動総合観測として様々な観測を実施している。H26 年度までは、岐阜県に限定した場合、土岐市：1 地点、御嵩町：3 地点、瑞浪市：10 点、恵那市：6 点、中津川市：5 点の計 25 地点の観測網を展開していたが、H27 年度では観測網の簡素化を行い 16 地点で観測している。有感地震があった場合、観測記録から気象庁計測震度に相当する震度に直し、HP で公開し防災への取り組みを喚起している。その他、地震観測点での限定的な震度情報から面的へ拡張するため、次年度からは、有感地震が発生した場合、太田式アンケート調査を行う事を検討した。

#### ○濃尾地震による被害状況の再検討

濃尾地震は国内でもっとも激甚な災害と同時に、岐阜県下では有史以来の自然災害でもある。十分な被害資料が残るとは言い難いが、現在でいう町丁字規模となる町村単位の被災資料が整理される。これは防災の基本がコミュニティベースであることを考える貴重な資料である。濃尾地震時の濃尾平野北部、岐阜県南部での家屋全潰率や 1944 年東南海地震時の名古屋市の学区別の家屋倒壊率などを検討すると家屋の全潰率や倒壊率は現在の町丁字レベルで大きく異なることが明らかになった。この違いは主に人工造成地とか砂層、段丘面、自然堤防面といった表層地形の違いによるものと考えられる。すなわち、地域の地震防災を考える上で、町丁字といったコミュニティベースで災害を考察することが極めて大切なことを示している。

#### ○東濃地域のハザードマップ・リスクマップ

地震に関するハザードマップおよびリスクマップ (被害想定) には、予防対策の策定から発災直後の行政対応・住民行動そして復旧・復興戦略の策定など、有効かつ実用的な情報を多く含んでいる。

ハザードマップとは、通常、地震動 (震度)、液状化危険度、斜面崩壊危険度の予測分布を指している。一方、リスクマップとは住家の損傷、ライフラインの被害、死傷者の予測など多岐にわたる被害項目や復旧・復興期に顕在化する経済被害などが挙げられる。また、南海トラフ巨大地震の発生時期 (いつ発生するかは不明であるが) と時を同じくして少子高齢化が顕在化し、被災地ばかりでなく世帯の復興も困難になる危険性も大きくなっている。しかし、ハザードマップやリスクマップの作成は地震防災上有効な情報を提供するが、全ての被害項目を予測するには時間的・資金的な制約ばかりでなく、研究面においても多くの問題を抱えている。よって、今までの東濃地震科学研究所における成果 (例えば、岐阜東濃地域の地震時安全性に関する調査、平成 11 年) などを援用して、瑞浪市におけるハザードマップやリスクマップの作成

を検討する。また、次年度以降の研究委員会におけるテーマとしても位置づけている。

#### ○地震災害における経済損失額の予測と復興に関する調査研究

1995年の兵庫県南部地震は、都市型災害として想像を絶する被害を出し多くの人々の心に深い傷跡を残したばかりでなく、兵庫県内の直接被害総額は約 10 兆円もの経済損失が発生した。また、南海トラフの巨大地震では約 170 兆円の直接被害額と 50 兆円の間接被害になると予測されている。このように地震災害の規模を『被害額』という形で数量的に表現することは、行政側にとっても震災前後の経済政策が立てやすくなるが、この被害額の予測にはまだ多くの課題が残されている。特に、産業面の被害は、直接的なものから間接的なものまで広い範囲に及ぶため、社会に与えるダメージは大きく、その影響は長期にわたる。また、世帯を単位とした経済力の把握とどのように復興して行ったかを知る事も鍵になるといえる。本年度は、1995年以降取り組んできた地震による直接被害額の予測のための情報の整理などをおこなった。また、世帯を単位とした経済力に関する基礎研究に着手した。

#### ○激甚災害における人間被害の研究

2011年東日本大震災に伴う死者の年令等依存性—乳幼児・高齢者の死亡率は常に高いのか？—を主題とした Series 研究を実施している。今までの調査・研究を通じて、地震（津波）に伴う死者の年令依存特性が意外に多様であることを明らかにしてきた。その一方で特筆すべきパターンが2つあることも判った。そこで、この問題に注目し、平成年死亡率との対比と余命年数損失の視点からの分析を行った。

その結果、従来のように単純に死者発生率を年令別の存在比でみた場合、J字型の関係が得られたとしても乳幼児の死亡率が一見低いようにみえたとしても視点を変えてみることで乳幼児を初めとする若年層側では相当高い死亡率となっていることが、今回の試算で明瞭になった。また、今回の結果は、先に得たU字型分布についてもさらに立ち入った考察が必要なことを示唆している。

#### ○地域への地震情報発信の高度化および地震動特性の地域的相違に関する調査研究

現在、本研究所では地震分野の研究者が少なく、これまで維持してきた地震観測網も機器の老朽化が進むなど、厳しい状況となる。一方、地元から有感地震時などに求められる内容も少なくない。そこで、気象庁などの地震解析処理データがこれらの地元の要求に応じられるか調査した。フィリピン海プレートスラブ内で発生する地震について発生メカニズムを調査する段階で求めた DD 法アルゴリズムによる震源要素と気象庁速報値を比較検討した。その結果、対象とする地震の規模程度ならば、気象庁データも十分に対応できることが明らかになった。今後、地震活動状況を時系列表示も含め市民が理解しやすい表示方法に改善し、整備されたウェブサイトにて、リアルタイムでの公開を追求する。

#### ○濃尾地震による被害状況の再検討

岐阜県を襲った濃尾震災は資料が残る内陸直下型地震として最大の震災である。幸いに、被災時の詳細な資料が保存される。震災の全体像や復旧などは十分に調査研究されていない。地震被害を東濃地方において調査した。震災で現在の土岐・多治見・瑞浪市では9割以上の窯が崩壊し、被害額は20万円弱に達した。しかし、地域を挙げた復旧と復興の結果、窯業界は地震の翌年1892年には、工業生産額が120万円（地震前の1889年の2倍強）に増加し、県下1の生産額を誇る生糸に切迫した。背景に仲買業が指導権を握り、家内企業という窯業の特殊性が存在する。

#### ○地表地震断層近傍で人的被害が大きくなる特徴についての考察

濃尾地震震災で指摘される地表地震断層近傍で人的被害が大きくなる特徴をより詳細に調査する目的で、三河地震と北丹後地震、熊本地震について考察を進めた。その結果、地表地震断層近傍でみられる全壊家屋と人的被害に大きな被害の原因は地震断層が地表に達した時のずれやそのずれが止まるときに発生する加速度の変化が主な原因と示唆される。

#### ○地震による人と経済の被害に関する総合的調査研究

数多ある地震災害のうち、一端奪われたら取返しのつかない「人間被害—特に死者の問題—発生に関する実証的分析とそれに基づく軽減」を第1の目標とした研究を続けている。この流れ

の中で、近年は地震・津波に伴う死者の年齢区分別発生状況に関わる Data の収集と分析に注力している。対象とする地震は国内外の近年の主要地震であるが、中でも我が国近年の特大地震である 1995 年阪神淡路大震災・2011 年東日本大震災時の死者発生問題に注目した分析を進めてきている。

その結果、年齢区分別の死者発生率 (%) が大きく 4 区分 ( J字型、U字型、そして高低 Flat 型) で統括されることを提唱した。

民力総合指数に基づく災害の経済損失推定について、過去に国内で発生した地震について、当時の民力総合指数から既存の推定式で見込まれる経済損失額と実際の経済損失を比較した。その結果、推定される損失額は概して実際よりも少額となった。推定式の妥当性、さらには民力総合指数そのものの、推定方法などに問題点があると考えられる。

### 3-2-3 論文状況等

#### (1) 特許・実施件数

<外国特許>

US 特許 2015/1/26 “Stress and Strain Sensing Device” PCT/JP2012/059115 米国

出願番号：13/641.093、 Inventors: Hiroshi Ishii; Yasuhiro Asai; Hideo Sugaya

<外国特許>

中国特許 2016/8/31 ZU 2012 8 0001105.8 「応力和応変検束装置」石井 紘；浅井康広；菅谷日出夫

#### (2) 論文・学会発表等件数

種 類	平成 2 6 年度	平成 2 7 年度	平成 2 8 年度
研究出版物	2	2	2
論 文	24	20	17
学会発表	29	25	32
特 許	1 (外国：米国)	0	1 (外国：中国)
編著者等	1	2	3
講演等	8	12	6
新聞記事 テレビ放映等	7	8	1

#### (3) 論文リスト

参考資料 研究成果の発表を参照

## 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

### 4-1 知財管理

現時点では、当研究所において開発したボアホール応力計・歪計に関しては日本及び米国・中国において特許を取得済みである。また、国内では深部ボアホールにボアホール地殻活動総合観測装置を確実に設置するための方法に関する複数の特許もすでに得ている。当研究所で開発した地殻活動総合観測装置の多くが東海地震、東南海地震や南海地震にむけた地震調査観測に利用されている。それらのデータの蓄積とともに今後、当研究所で開発した計器の有効性が明らかになると考えられる。その場合は獲得した知的財産は有効に活用されると期待される。開発した応力計はさらに土木用に用いられ事業アウトカムの見込みがある。

この3年間では外国特許として以下の2点を取得している。

<外国特許>

US 特許 2015/1/26 “Stress and Strain Sensing Device” PCT/JP2012/059115 米国

出願番号:13/641.093, Inventors: Hiroshi Ishii; Yasuhiro Asai; Hideo Sugaya

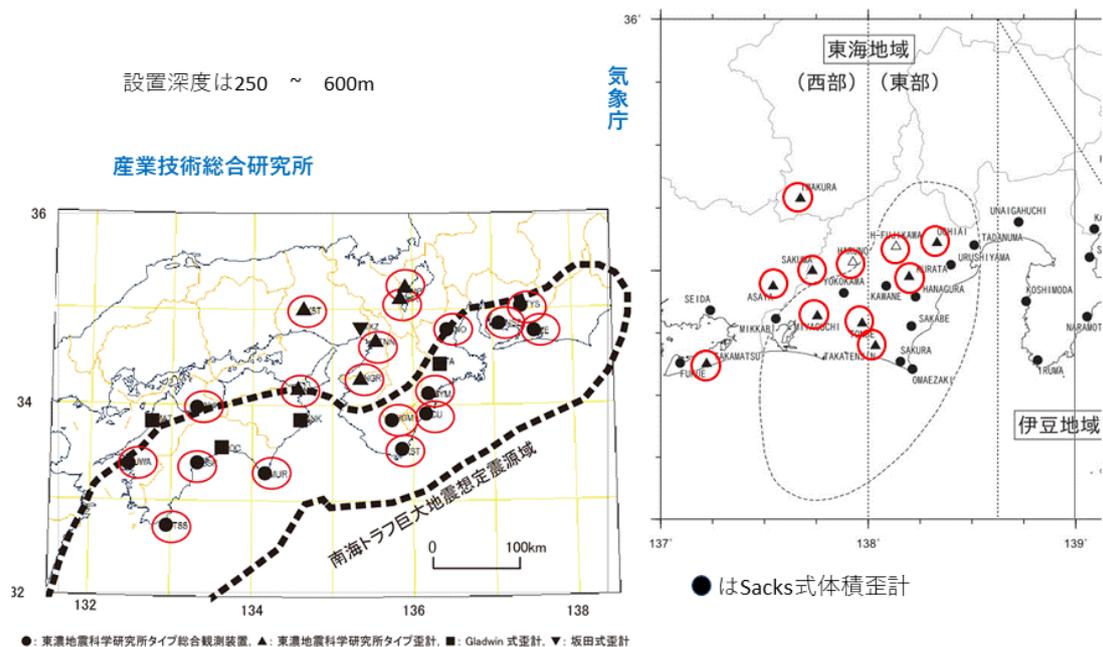
<外国特許>

中国特許 2016/8/31 ZU 2012 8 0001105.8 「応力和応変検束装置」石井 紘;浅井康広;菅谷日出夫

### 4-2 実用化に向けた取り組み

現時点では多くの地殻活動総合観測装置が東海地震、東南海地震や南海地震にむけた地震調査観測に利用されている。開発した応力計はさらに土木用に利用されると考えられ、事業アウトカムの見込みがある。応力計は外国（米国、中国）の特許も取得しており海外での利用も期待される。深部ボアホールで多種類・多成分の観測が可能なボアホール地殻活動総合観測装置が気象庁や産業技術総合研究所などに採用され、東海地震、東南海地震や南海地震にむけた地震調査観測に利用されている。得られたデータは地震予知連絡会などに毎回報告され実用に供されている。

東濃地震科学研究所タイプの総合観測装置あるいは歪計が設置されている観測点（赤丸）：30カ所



## 5. 研究開発の実施・マネジメント体制・資金・費用対効果等

### 5-1 研究開発計画

深地層研究施設利用の地震研究では地域を絞ることが重要である。高密度地下深部観測は重要であるが、未経験な分野が多く、極めて困難かつ経費のかかる課題である。経費節約のために、既存坑道、調査済ボアホール、深地層研究施設地下空間の利用等を重視してきた。これらを活用して観測機器を設置し、技術的な向上を図りながら徐々に整備を行えば、最終的には大規模地殻活動総合観測網として完成するであろう。この際、利用すべき深地層研究施設の進捗状況に合わせた計画には柔軟性が必要であった。

深地層研究施設の利用の研究では、計画全体は20年程度と見込まれる。技術・知見の向上については予測が困難であるため、事業計画は5年ごとの計画立案・修正の積み上げで進めることとした。研究目標は、それまでに整備された観測網およびその時点での知見に基づき、考えられる最高のレベルで設定した。

地震防災については、地元住民の関心を維持するためにも、継続することが重要である。これらを勘案して立案した第1次5年計画(平成9～13年)は第2次5年計画(平成14～18年)に引き継がれた。(平成18年の中間評価参照)。その基本的構想に変更はないが、東海地域から紀伊半島にかけてプレート境界地震の危険性が高まり、第2次5年計画以降、海域の地震と陸域の地震の関連性も研究対象とするようになった。平成19年に始まった第3次5年計画では深地層研究施設の利用が本格化している。第4次5年計画では「深地層・地下空間における観測機器・技術の開発および変動研究」を最初の項目にし、地下空間の利用を一層進めることとした。サブテーマのタイトルも若干変更した。

これらの計画は、東濃地震科学研究所運営委員会において審議があり、その承認を得て実施計画が出来上がる。

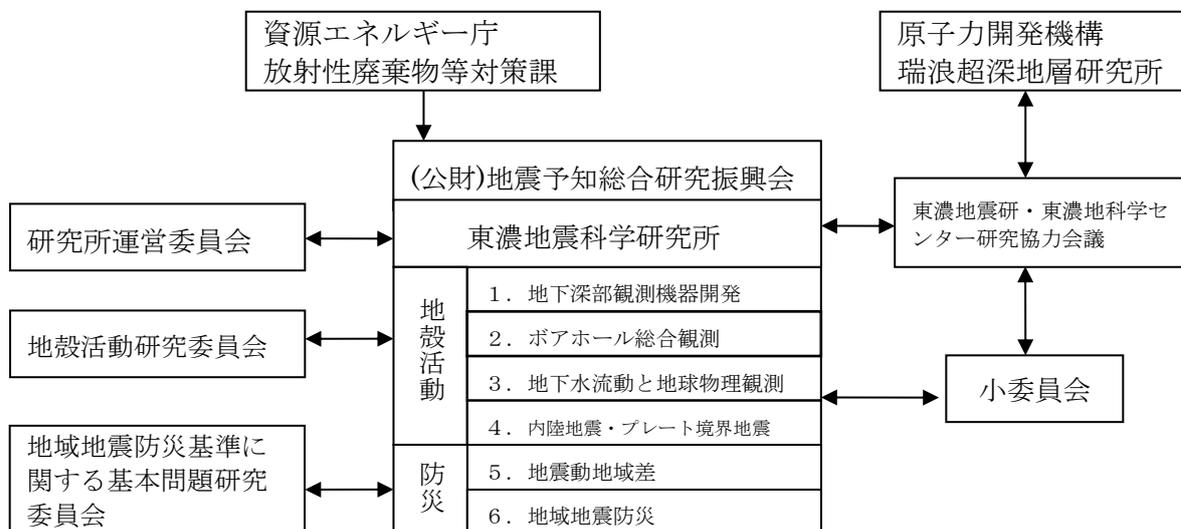
○年次計画（第4次5年計画）

東濃地震科学研究所 第4次5ヵ年計画（平成24年～28年）

研究課題	計画項目	計画の概要	H24	H25	H26	H27	H28
深地層・地下空間における観測技術の開発および変動研究	地下深部空間を活用する技術の開発研究および立坑における観測研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●超深地層研究所ステージを利用した立体地殻活動総合観測</li> <li>●ステージにおける応力測定方式の改良</li> <li>●超深地層研究所立坑における観測データの解析</li> </ul>	◎ ・ ◎ ◎	◎ ・ ◎ ◎	○ ・ ○ ○	○ ・ ○ ○	○ ・ ○ ○
深地層における地震発生関連現象の総合的研究	ボアホール総合観測システムの開発研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●ボアホール地殻活動総合観測システムの改良（長期安定性検定）</li> <li>●超深地層研究所の立坑を中心にした十字アレイ深部ボアホール観測網で観測された記録の収集・解析（内陸地震、東海・東南海・南海地震など発生機構の研究）</li> </ul>	◎ ・ ◎	◎ ・ ◎	○ ・ ○	・ ・ ○	・ ・ ○
	地下水流動と応力・歪・傾斜・地下水・重力などとの関連研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●重力の時間的変化の観測</li> <li>●応力・歪・傾斜・地下水位・地下水圧・重力観測・水準測量の関連性の調査</li> </ul>	◎ ◎	◎ ◎	○ ○	○ ○	○ ○
活断層地域における内陸地震の発生機構に関する研究	内陸地震とプレート境界地震の発生及び関連性に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●地殻活動の総合観測（プレート境界地震、内陸地震と活断層近傍）：絶対重力測定、弾性波速度測定、GPS連続観測、地震の稠密観測、ボアホール総合観測装置（応力計、歪計、傾斜計、水位計、水圧計、地震計）</li> <li>●活断層近傍における地殻活動総合観測の実施・継続・強化</li> <li>●東海地域周辺の絶対重力測定とGPS連続観測の継続</li> </ul>	◎ ・ ・ ・ ・ ◎ ・ ◎	◎ ・ ・ ・ ・ ◎ ・ ◎	○ ・ ・ ・ ・ ○ ・ ○	○ ・ ・ ・ ・ ○ ・ ○	○ ・ ・ ・ ・ ○ ・ ○
地域の地震防災に貢献する調査研究	地震動の地域差に関する調査研究	●高密度地震観測網を活用した地域地盤構造とその地動特性の解析	◎	◎	○	○	○
	地域の地震防災に関する調査研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>●東濃地域のハザードマップ作成</li> <li>●地震時災害軽減に関する研究</li> <li>●過去の被害地震資料の再検討</li> </ul>	・ ・ ・	◎ ◎ ◎	○ ○ ○	○ ・ ○	・ ○ ○
広報活動など	国際交流・情報・広報活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>●地域社会・世界へ積極的に情報・研究成果を発信する（*随時）</li> <li>●人員計画（*随時）</li> <li>●海外研究者との共同研究等（*随時）</li> </ul>	*	* 1 *	* * *	* * *	* * *

## 5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

地震予知総合研究振興会は、瑞浪市に東濃地震科学研究所を設置して事業を開始した。所長および所員は振興会での人選によるが、研究所の運営は外部の専門分野有識者多数を含む「東濃地震科学研究所運営委員会」による。運営委員会は通常年1回、成果報告・該当年次の研究計画の内容を審議する。これで研究の実施内容が定まる。



東濃地震科学研究所の事業は瑞浪超深地層研究所の施設利用が主体である。円滑な事業推進のため「東濃地震科学研究所・東濃地科学センター研究協力会議」を設置し、年1回（あるいは2回）研究内容の説明、深地層研究施設の利用等について協議を行なう。施設利用については小委員会を設け、必要に応じて具体的な検討・調整が行なわれる。また、毎月少人数での定例会議が行われ情報交換を行っている。その内容は、主としてサブテーマ1、2と3である。サブテーマ1～5に関しては関連分野専門家からなる地殻活動研究委員会で議題にあがる。サブテーマ5の目標は地震防災であるが、地震観測として地殻活動研究委員会に属する。サブテーマ6は地震防災の工学的・人文的な分野であるため、独自の研究委員会を設け、全国の関連研究者との交流を図っている。4課題あるいは6サブテーマに亘る事業活動全てを常勤の研究者6人（内、週3日勤務、1名；週2日勤務、1名）という小人数で効率的に進めている。専門1分野の研究者もいるが、観測機器開発担当は分野に跨ることが多い。しかし、開発は個別に実施するためリーダーは特に定めてはいない。その実施に関しては予算委員会を通じて調整される。この体制により研究目標に対して総合的に連携・協力はおのずから可能になる利点がある。しかし本質的に課題数に対して人数が不足である。そのために現在客員研究員制度を設け、9人の実績のある研究者に月に1～2回程度来ていただいている。時には調査の委託、外部研究機関との共同研究や研究委員会が、各研究員の研究推進に大きな役割を果たしている。

サブテーマ	担 当						
	HI	FK	MF	YA	TT	OM	Others
(1)地下深部空間を活用する技術の開発及び立坑における観測研究	○		○	○	○		
(2)ボアホール総合観測システムの開発研究	○			○			
(3)地下水流動と応力・歪・傾斜・地下水・重力などの関連研究	○	○	○	○	○		○
(4)内陸地震とプレート境界地震の発生及び関連性に関する研究			○			○	○
(5)地震動の地域差に関する研究		○				○	
(6)地域の地震防災に貢献する調査研究		○					○

### 5-3 資金配分

本事業の規模は深地層研究施設整備促進補助金交付要綱で規定されており、資金に過不足の出ないような長期計画が可能であったが最近では削減が行われるため困難になっている。地殻活動総合観測点の整備費は単年度調達では困難な場合があるため、他分野の整備、調査等の実施年度を調整し、数年間の範囲で見れば過不足はないようにしてある。所内での資金配分決定は、年次計画に基づき、所内研究者からの提案内容・経費を協議し、所内の予算委員会、東濃地震科学研究所運営委員会の議を経て研究所予算案とする。結果としては、年度によって試験研究費、施設整備費、設備備品費に大きな変動が生じているが、運営に差し支えることはない。

(単位 100 万円、100 万円以下四捨五入)

年 度	平成 2 6 年度	平成 2 7 年度	平成 2 8 年度	合 計
共通部分経費	16	15	17	48
人件費	72	70	73	215
試験研究費	40	31	25	96
施設整備費	3	29	10	42
設備備品整備費	21	2	19	42
研究委員会経費	7	12	15	34
調査旅費	1	1	1	3
計	160	160	160	480

### 5-4 費用対効果

内陸地震の発生機構の研究のアプローチは、地上からの深部探査を含めた観測研究もあるが、直接深地層内で地震発生関連現象を高精度で観測研究することが重要である。しかし、深部に観測機器を設置するには莫大な経費が必要であるため、廃坑等の既存の施設の利用が望ましい。この意味では硬岩内にある深地層研究施設の地下空間は給電、通信、管理等の便宜もあり深部観測に適している。

また深地層研究施設の多目的利用にも適っている。

新潟県中越地震で内陸地震への関心が高まったが、その後も能登半島沖地震や岩手・宮城内陸地震が発生し、地震研究そのものはもちろん、強震動や地震災害の研究が急務となってきた。東北地方太平洋沖地震の発生により、一層重要性が増している。深地層研究施設の活用を主とする本事業においても、地元の要望に応えるべく地震災害の研究対象に南海トラフ巨大地震を加えるなど、年次計画の変更で対応してきた。地盤振動特性の研究にも強震動発生の観点からの研究を行い、貴重な知見を得ている。

深地層研究施設の地下空洞掘削では地下水の異常湧出で工事遅延が生じているが、地下水流動・制御と歪・傾斜の関連研究などで新たな研究課題と成果を生み出している。東濃地震科学研究所・東濃地科学センター研究協力会議を通じて事業計画を調整し、周辺地域の観測を強化するなど、適切かつ積極的な対応策により柔軟に対処してきた。

## 6. 前回指摘された点に対する対応状況

### [問題点・改善すべき点]

○1 観測施設は、そのユニーク性故に極めて貴重なデータが得られつつある。これらを基に、地殻活動に対する普遍的な課題に何処まで迫れるかを意識して取り組んでいただきたい。

貴重なご意見 考慮しています。

○2 問題点の多くは、限られた人数と資金によるところが大きい。現在の限られた体制にもかかわらず期待される以上の成果を生み出しているとは思いますが、この先の発展には更なる人的支援により時間的な余裕を確保することと資金面での援助が必要となる。それが叶えられれば、極めて大きな効果や事業化への発展を見込むことが出来よう。

資金が減少していく中で、

・観測点増設： 経費を節約するために既存のボアホールの利用やボアホールを譲り受けて利用している。

JRJ(深度 1030m)：JAEA の既存のボアホールを譲り受け改良して使用

BH-1 (深度 160m)：JAEA の既存のボアホールを譲り受け改良

97FT-01 (深度 167m)：JAEA の既存のボアホールを譲り受け改良

SN-1(深度 91m)：JAEA の既存のボアホールを譲り受け改良

SN31(深度 131m)：JAEA の既存のボアホールを譲り受け改良

・人的支援：研究所は地方都市なため若い研究者の応募は少ない。したがって大学等を定年で辞めた先生方に客員研究員として招聘し（現在 9 名）応援していただいている。

・深部ボアホールで観測された応力計・歪計などのデータは地震の研究にあまり利用されていない。今後データを公開して共同研究などを積極的に進めることも一つの方法と考える。

○3 しかしながら、ここ数年、毎年資金が減少している現実からして、研究テーマの木目の細かな検討に基づく重点化を行い、焦点を絞ることも肝要となるであろう。

地球物理学的方法による地下水流動、地下深部における地球物理学的総合観測研究、内陸地震に関する研究、地域の防災に関する研究（地震災害、火山災害）などを念頭に研究を進めている。

○4 本来の目標の一つである地域の地震防災に資するには、更なるデータの蓄積と研究が必要である。また、それを普及するための方法についても追求していただきたい。

後述の○9 に述べているように地域での講演等を積極的に行い普及に努めている。

○5 国の原子力行政や地震発生状況に応じて、研究者の意識も変わってくると思うため、これまでの研究を活かしてより発展的に軌道修正出来るような体制があってしかるべきである。現状に硬直せず、フレキシブルに対応することが求められる。外部からの意見を取り入れることも効果的なため、より外部の研究者と連携した研究を推進することが望まれる。

地殻活動研究委員会（外部研究者 19 名）や地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会（外部研究者 19 名）を開催している。積極的に意見を聞いたり議論したりすることを心掛けている。

○6 東濃における地域地震防災の研究では主に表層地盤の特性によるゆれやすさの広域分布の解明を主たる目的とした事業であるが、地域の防災・減災に直結した実用的な成果を得るには別の観点からの検討が必要であると思われる。当該地震での強震記録データベースが作成されており、これらの活用が期待される。

現在の防災担当の研究員の興味を持っているテーマもあるが強震記録データベースの解析などに興味のある研究員が応募してくれば積極的に採用することも考えている。

○7 観測中心の事業計画になっているため致し方のない面はあるかもしれないが、研究成果に観測事実や一次解析結果の羅列が目立ち、研究開発の目標とその達成への手順がかならずしも明確でない印象を受けるのが残念である。

研究所の目的が立坑を利用することや地下水流動の研究・内陸地震の研究ということなため観測中心の事業計画になっている。観測点の維持等に時間がとられていることもあるが研究員の数が少ないこと等も関係している。一時解析の結果を発展させることは重要と考えている。

○8 「2. 目標」の H17～H25 第 4 次中間時の「目標・指標」には「内陸地震の研究」と書かれているが、評価時点の「目標・指標」では「プレート境界地震活動の観測」となっている。そして、「設定理由・根拠等」には「東濃は海陸プレート相互作用の場」と書かれているが、通常プレート境界地震という用語は、M9 前後の海溝型巨大地震を指すため、もう少し丁寧な説明が必要であろう。

設定理由・根拠を変更した。「東濃は海陸プレート相互作用の場」から「東濃は内陸におけるプレート境界地震発生場」へ変更

○9 研究委員会では外部の研究者による研究紹介も行われているが、その内容は研究所での課題研究の推進に必ずしも直結していないものもあるように思われる。毎回とまでは言わないまでも、時折、テーマを絞りながら、地域の一般の人たちも参加できるような形で研究発表会を開くことも、研究所の存在意義や研究へのモチベーションを高めることにつながるのではなかろうか。

研究委員会や研究所の最新研究報告会ではテーマを決めて特別講演もお願いする場合もある。

3年間で一般向けの講演等は 27 回おこなわれており、地震防災や火山噴火防災の講演も含まれている。その中で H27 年度には岐阜県先端科学技術センター（サイエンスワールド）での講演と実習「火山の授業」、平成 28 年度市民学術講演会「瑞浪を襲った地震、襲う地震」、東濃地科学センター開所 50 周年記念行事 地下環境シンポジウム ～地下環境の研究最前線～ における講演「原子力機構の立坑利用により進展した地下深部研究と地震予知研究」などが行われている。

そのほかに H26 年度には一般市民向けの防災講話として「息災広場」というタイトルで一般市民が気楽に聴講・参加できるイベントを 5 回催している。