

平成31年(令和元年)度東濃地震科学研究所事業報告概要

(公益財団法人)地震予知総合研究振興会

事業の実施計画

本事業計画は、深地層研究施設の設置および運転の円滑化に資するため、瑞浪超深地層研究所施設の活用による内陸地震の研究および東濃地域に資する地震防災に関する研究を推進するものである。

事業の内容は、

1. 深地層・地下空間における観測機器・技術の開発研究および地下水流動研究
2. 内陸地震および活断層地域における地震の発生機構および関連現象の総合的研究
3. 地域の地震防災に貢献する調査研究

の3本の柱で構成されている。

現在、当研究所が運営している連続観測点は、日本原子力研究開発機構の立坑を中心とした15カ所の深部ボアホール総合観測点、約数十点の地震観測点、および4点のGPS観測点がある。立坑内にも複数の応力計、歪計、傾斜計および地震計を設置しており、適時増設している。そのほか臨時地震観測、水準測量観測網による上下変動測量や重力計による重力観測を実施している。

また、立坑を利用して、地下深部における観測のための計器開発も行っている。研究所が設立されて以来、構築してきたこのような観測体制から蓄積され続けているデータを利用するとともに、応力計・歪計・傾斜計・水圧計などを組み合わせた更に新しい解析による地下水流動研究を推進する。

上述の事業計画の実施にあたり、その円滑な運営を図るため、外部有識者を委員とした東濃地震科学研究所運営委員会を開催する。

なお、これらの研究及び研究開発に対する目標、成果等の妥当性について、「経済産業省技術評価基準」を準用した外部有識者を委員とした中間評価検討会を平成29年度に実施し、高い評価を得たところである。

観測体制の特徴

深部ボアホール地殻活動総合観測装置は、地下深部(1km)において総合観測が可能である。この観測機器は、原子力研究開発機構の立坑を利用して、当研究所で開発した計器であり、世界的にもどこでも行われていない最新の観測計器である。研究所が設立されて以来、構築してきた観測体制から、蓄積され続けている応力計・歪計・傾斜計・地震計・温度計・水圧計・磁力計などのデータにより、今までに出来なかった新たな研究が可能になり、事業の効果的な推進が可能となった。

1. 深地層・地下空間における観測機器・技術の開発研究および地下水流動研究

1. 1 地球物理学的方法による地下水流動の研究

1.1.1 水準網拡張と想定される 2012-2018 年の地下水流動

瑞浪超深地層研究所(日本原子力研究開発機構)が地層処分技術に関する研究開発を目的で行なった深さ 500m の坑道掘削により、掘削坑を保守するために現在も日 700m³/日の湧水排水が必要となり、周辺では地下水位が 2004 年以降に 80m ほど低下した。また掘削坑近傍では14年間で約2cm(年平均1-2mm)の沈降が精密水準測量で観測された。上下変動の観測には人工的な擾乱や局所的な変動も含まれることから、2012 年に水準網を拡張し、周辺で起きている上下変動の空間的な検出を試みた。

1.1.2 重力計鉛直アレイ観測

gPhone#130(瑞浪超深地層研究所深度 300m 研究アクセス坑道に設置)と gPhone#153(瑞浪地科学研究館測定室)を用いた、重力計鉛直アレイ観測(以下、VGA)を実施した。2 台の重力計がはさむ領域の質量変動を反映し、SBS16m 孔の地下水位(f)及び雨量(g)との良い対応が得られた。

1.2 断層と地下水の関連性に関する研究

1.2.1 割石温泉における湯量観測

割石温泉は北緯 36 度 22 分 3 秒、東経 137 度 16 分 50 秒、高度 412m の岐阜県飛騨市神岡町大字割石 219 番地、高原川左岸の河岸段丘上にあり跡津川断層から南へ約 3km に位置する。この温泉において 2004 年から湯量変動を観測している。2018 年までの観測したデータに基づいて以下のことを調べた。

1. 断層周辺で発生した 5 個の地震にともなった湯量変動。
2. 湯量の潮汐変動感度の振幅と位相を求めた。
3. 間欠泉の周期変動解析
4. 溶存ガス量の変動解析
5. 地震にともなう湯量変動

1.3 立坑の埋め戻しに関する研究(東濃鉱山、主立坑、換気立坑)

1.3.1 瑞浪超深地層研究所立坑内ケーブル延長工事

令和元年度中に開始される瑞浪超深地層研究所立坑の埋め戻し工事に伴う地殻応力変動を調査研究することを目的として、同立坑内深度 500m 研究アクセス南坑道 125m 計測横坑および深度 200m ボーリング横坑(換気立坑)に掘削したボアホール内に埋設・設置、連続観測を行っている応力計(立坑用埋設・設置計器;STG500 および STG200N)の光・電気複合無外装ケーブル(信号・電源ケーブル)を換気立坑巻上機室内(地上)に延長し、同室内に各応力計の電源・通信部の設置を行った

ケーブル延長工事が終了した 2019 年 12 月 5 日以降、2020 年 1 月 31 日までの STG500 応力計記録と STG200 応力計記録を図 2 に示す。ケーブル延長工事前と同様、良好な観測が行われている。2020 年度中に本格化する立坑埋戻しに伴う地殻応力変動の観測が期待される。

1.4 汎用応力計の開発

1.4.1 変位拡大システムの開発と適用例ー小型歪地震計の開発ー

変位を拡大するシステムが開発できれば地球物理学の観測に各種適用できると考えられる。そこでテコの原理を適用した変位拡大システムの開発を試みた。そこで地上で安価に歪地震動の記録が可能な歪計の開発を試みた。テコの原理を利用している。2段の拡大で支柱の長さは10cm程度で板バネにより支えている。検定した結果は1 μ の変位が1.6voltの出力となり約53倍変位が拡大された結果を得た(図2)。三重県南東沖地震を30mの伸縮計の記録(赤線)と1.1mの長さの変化を拡大装置により記録した結果(黒線)との比較をした。両方の記録はほとんど同じ波形を示しており、この結果、短い長さでも拡大システムを適用すれば30mの長さの伸縮計と同等の歪地震記録を得ることが可能であることが明らかになった。今後はこの拡大システムの他への適用を検討する。

1.4.2 ボーリングコアの弾性変形に基づく岩盤応力測定

地下深部に大空洞を掘削する際、その設計、施工に資するため、掘削に先立ち岩盤応力の測定を実施すると、測定位置上部の岩盤自重と地形では説明できない大きな水平方向応力が測定されることがある。このような大きな水平応力の作用方向は、プレート運動に起因する広域応力の方向と一致する場合もあるが、必ずしも一致しない場合もある。これは地殻が、剛性の異なる種々の岩盤からなり、さらに断層や地質境界の不連続面を有する不均質な媒体であるためと考えられるが、その不均質性が地殻応力の伝搬にどのような影響を与えているかをデータに基づいて検討した。

2. 内陸地震および活断層地域における地震の発生機構および関連現象の総合的研究

2.1 東濃地域の地震活動および地殻活動の研究

2.1.1 歪変化の空間分布による短期的スローイベント発生源モデルの再考

沈み込み帯で検出される各種スロー地震は、通常地震と同様に地殻中の断層運動としてモデル化されている。しかし、これらがスローかつ非定常な現象となる物理的メカニズムは不明である。そのため、深部スロー地震の一つである短期的スロースリップイベント(S-SSE)について、その発生源における変形モードを再検討すべく、本研究所所有の地殻活動総合観測点内に設置されている歪計・応力計のデータを使用した発生源モデルの再推定を開始した。また、歪計(BYB:屏風山、TGR165:戸狩)・応力計(TOS:陶史の森、SBS:正馬様)の計4観測点について、歪計・応力計の電圧値ーひずみ値の換算係数の算出ならびに、S-SSEに伴う歪変化を算出した。この歪変化

は上記のモデル計算と整合的であった。今後、これらの結果を使用して S-SSE 発生源モデルを推定する。

2.1.2 長周期表面波に同期した地磁気変動の観測

短周期地震波の通過に伴い地下水を含む岩体内部で界面動電 (electrokinetic) 現象が起き、電磁気変動が発生することが知られている。この現象は地下における地下水の状態を調べるために利用されている。一方長周期帯域での観測例はほとんどなく、その観測が地下水の研究にどの程度可能かも分かっていない。そこで東濃地震科学研究所が深地層施設内および近傍に設置している観測機器のデータを利用して、長周期地震波に伴う地磁気変動の検出を試みた。

2.1.3 断層パラメーターと活動度を用いた累積地震性地殻変動に関する考察

近畿地方中央部と富山平野において、地震調査委員会の活断層の長期評価における断層パラメーターと活動度を用いた累積地震性地殻変動と、反射法探査などによる地盤構造がどれだけ調和的かを検討した。その結果、次の結果が得られた。

近畿地方中央部は、あくまで0次の近似であるが、「180 万年程前から 70m/10 万年の定常的沈降が進行していたが、50 万年程前に停止した」という仮説を媒介に、近畿地方の活断層の長期評価は、過去 180 万年の地盤の堆積構造と調和的であることがわかった。

2.1.4 立山・黒部地域の構造とダイナミクスのまとめ

1990 年代に行われた立山・黒部アルペンルート構造探査、GPS 観測研究などの成果と東北沖地震後の誘発群発地震活動を素材に、立山・黒部地域の構造とダイナミクスのまとめを行った。第四紀後半の立山隆起の検討を行い、「立山隆起の中軸は黒部川花崗岩（立山尾根部ではない）で中心部の隆起速度は 7mm/年（700m/10 万年）程、立山と室堂平の隆起速度は 4mm/年（400m/10 万年）程」との結論を得た。

2.1.5 1984 年長野県西部地震の余震の地震波放射エネルギーの推定

2017 年 6 月 25 日に長野県南部において、M5.6 の地震が発生した。この地震は、1984 年長野県西部地震（M6.8）の震源付近を震源とする地震であった。また、その規模（M5.6）のわりに有感だった領域が比較的広がったことに着目し、平成 29 年度には、この地震の地震波放射エネルギーの推定を行った。その結果、他の日本の内陸地震と比べても、この地震の地震波放射エネルギーは高い方のグループに属することがわかった。

2.2 地震のメカニズム研究への応力計・歪計の利用法の研究

2.2.1 歪計（屏風山・東濃地震研究所・観測点）と応力計（陶史の森・日吉・正馬様・深地層研 ス テージ 200・観測点）で記録される地震動の研究

東濃地震科学研究所では、1997 年 4 月の設立以来、ボアホール埋設型の石井式歪計・応力計の開発改良を進めてきた。特に、2003 年 3 月末の屏風山観測点（深さ

1020m) に 4 成分歪計を埋設して以来、順次観測点を増設し、2015 年夏以来、6 点の多成分歪計・応力計が 105m 深～1020m 深のボアホールに設置され稼働している。これらで観測される地震動記録は比較的単純な波形を示していることから、その最大振幅に注目して、震源距離によるその減衰が決まれば、地震規模の推定が容易にできる。観測された地震の震源と規模(マグニチュード)は気象庁のデータに基づき、観測された歪地震動と応力地震動の最大振幅を求め、マグニチュード (M_{JMA}) - 観測歪・応力最大振幅 (ε 、 σ) - 震源距離 (R) の関係を整理してみた。2 点の歪計記録と 4 点の応力計記録の結果について、その後の追加修正を加えて全体を並列し総合的な検討を行った。

2.2.2 ボアホール応力計による周辺応力場の決定に必要なモルタルや岩盤の弾性率の評価法に関する研究.

超深層縦坑 500 メートルレベルの水平坑道床面から掘削されたボアホールに設置された応力計は同一方向で等価剛性が異なる二つの水平応力センサが含まれている。このセンサによる観測結果にもとづき、応力計設置後、時間経過にともないモルタルの弾性率が増加したこと、遅くとも 2～3 ヶ月後には 9 GPa に達し、ほぼ一定となったことがわかった。また、周辺の土岐花崗岩のヤング率として 60 GPa がえられた。この結果は室内試験結果より大きめであるが、深さ 0.5 km で作用している上載荷重の影響を考慮すれば妥当な値と思われる。

2.2.3 ボアホール応力計による観測結果にもとづく応力場の評価

陶史の森には応力計による記録だけでなく、ボアホール水位も記録されている。一般に、ボアホール水位が変化するためには岩盤内部とボアホールとの間に水の移動が必要であるが、TOSの水位記録には明確な地震波応答や潮汐応答を見出すことはできない。したがって周辺岩盤とボアホール間の水の移動がほとんどないか、あるいは水が存在しない状態か、いずれかである。これまで水圧変化が認められているSBSやSTG等の記録と比較することにより、岩盤内部に水圧変化が存在すると仮定して解析を進めてきた。一般論として、異なる二方向の成分の和と差を全応力と観測結果とで比較することにより、水圧変化の有無を検証することができる。水圧変化が存在する場合、異なる二方向の有効応力の和には水圧変化が含まれるが、有効応力の差は水圧変化がキャンセルされるからである。TOSの記録と川崎[2014]による理論地震波形を比較することにより、TOSでも岩盤内部で水圧変化が生じていることがわかった。

2.3 ACROSS 観測による弾性波(地震波)速度変化と応力、歪変化との関連研究

2.3.1 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(以下、超磁歪震源装置)の開発と運用を行っている。本事業の主目的は、超磁歪震源の有用性を検証し、弾性波により地下の弾性波速度変化や岩盤や地下水の挙動を明らかにすることである。いままで熊本地震(2016/04/16 $M=7.3$) 前後の直接 P 波の走時変化が土岐花崗岩中の間隙水圧(STG200N)の変化と良く一致していることなどが判明している。平成 31(令和元)年度も実験を継続し地震や降雨の影響による変化を調

べた。震源の心臓部である超磁歪アクチュエータは、改造前もほぼ連続的に稼働しており、約 10 年間の連続稼働実績を得たことになる。

2.3.2 ACROSS 観測による弾性波(地震波)速度変化と応力、歪変化との関連研究

東濃鉾山にある弾性波アクロス土岐送信所からの弾性波信号を、土岐花崗岩体内に地震計が設置されている TGR350 (GL-350m) および TGR165 (GL-165m) で観測した。2004 年 4 月 6 日～2012 年 3 月 31 日のデータを解析した。S 波の走時は、大きな地震の際にステップ状に遅くなる結果が得られた。特に 2011 年の東北地方太平洋沖地震 (M9.0。以下、東北地震) の際に顕著な走時遅延があった。また、TGR165 での走時変化が大きく、同じ観測点では、SV 波に比べて SH 波の走時変化が大きい。これは、土岐花崗岩の浅部ほどクラックが多いこと、また、東北地震によって本地域が伸張場となり、北東-南西方向に延びて主として北西-南東方向のクラックが開いたため、振動方向がこれらのクラック面と直交する SH 波の速度が遅くなったことが原因であると解釈できる。

2.4 御嶽山の活動に関する研究

2.4.1 上下変動

御嶽山のみならず活火山では現在の火山活動の観測と監視が地域の防災に必要で、そのために火山における噴火過程を準備から噴火、噴火後も長期間にわたり解明し、火山噴火メカニズムの理解が重要である。御嶽山では 2004 年から水準測量による上下変動を観測し、2007 年と 2014 年の噴火を通した変動が把握される。また、2017 年には水準網の直下で M5 クラスの地震が発生し、その地震による断層モデルも検討された。2019 年は 4 月末から 5 月末にかけて日本大学や名古屋大学などの合同で測量を実施し、その結果を 2019 年 19 年 7 月の噴火予知連絡会で報告した。

2.4.2 重力観測

今年度は御嶽山での重力連続観測は諸般の事情から実施しなかった。ここでは未報告であった 2019 年度のデータを紹介する。使用した重力計は Scintrex 社の CG3M、気圧計は Paroscientific 社の Model765 である。観測位置は八海山 (HKS) の「ログ三笠」地下室である。気象庁の火山活動解説資料では、期間中、火山活動の特段の変化は報告されていない。

2.5 地殻活動研究委員会の開催等

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。令和 2 年 1 月 23 日 (木) ～24 日 (金) に瑞浪地科学研究館 1F セミナールームで開催した。出席者は 28 名、オブザーバー 2 名で 20 編の論文が発表された。その中で当研究所からの発表は 7 編である。成果出版については東濃地震科学研究所 Seq. No. 44 にまとめた。

3.1 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に関する研究

3.1.1 稠密地震観測記録と大深度ボアホール地震記録を用いた地盤増幅特性の推定

東濃地域に展開している高密度地震観測網および大深度ボアホール観測点における地震データを用いて、東濃地域の地盤増幅の推定を行った。雑賀・大久保(2013)で使用された地表観測点 22 点、ならびにボアホール観測点 BYB で観測された、16 イベン

ト（深さ 30km 以上、M3 以上）の地震波形を用いた。解析にあたっては、この 16 イベントについて、全観測点の S 波部分を 10.24 秒のタイムウィンドウで切り出した後に、3 成分全てのフーリエ振幅スペクトルを算出した。推定した H/H スペクトル比のピーク周波数、H/V スペクトル比のピーク周波数、ならびに PGA 増幅率との関係を図 3.1 に示す。H/H スペクトル比のピーク値と PGA 増幅率との関連性は高いことがわかる。

3.2 地域の地震防災に貢献する研究および市民との積極的な交流

3.2.1 北海道胆振東部地震(2018 年)に見る我が国の地震防災の課題

当該地震の被害実態をとらえるべく、北海道内全市町村及び被災 3 町(厚真町、むかわ町、安平町)の全世帯アンケート震度調査、被災 3 町の概観目視による建物悉皆調査、被災 3 町の全世帯アンケート調査(建物耐震診断、室内散乱状況、居住者人的被害、居住者被災回避行動、復旧状況、事前・事後対策)を実施した。その結果、北海道の住居耐震性の強さ及び室内家具転倒領域率の低さ(表 1)が確認され、それが震動による人的被害の軽減に強く寄与していることを確認した。一方で、当該地域の少子高齢化現象が地域の生業の後継者育成を阻み、建物メンテナンスの軽視・復旧断念や廃業のきっかけを与えるなどの地方消滅の加速要因となっていることが明らかとなった。

3.2.2 複合災害の影響評価手法の提案

北海道胆振東部地震でも地震動に豪雨・斜面崩壊のハザードが複合し、被害を大規模化させた。近年の地球温暖化に見る自然環境変化は複合災害を常態化させつつあり、新たな対策シナリオを検討する時代に入ったと言えよう。複合災害の課題と取り組みについての概要は、今年度の「地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会」において発表・議論し、研究所報告に寄稿した。影響評価の手法について、以下の問題を具体的に展開した。

3.2.3 事前の地学教育による心の減災効果の検証に向けた小学校における断層教育の事例報告

事前の地学教育（地震や断層に関する教育）から被災時のストレス軽減に至る心理的プロセスを明らかにするため、まず、X 教諭へのインタビューを行った。その結果、X 教諭が重視していた点として、主に「自分達の住む土地がどのようにできたか知る」「地球のダイナミックさを伝える」「野外等での観察を通じて、地学現象のスケールの大きさを実感する」が挙げられた。

3.2.4 東濃地域の災害医療に関する調査・分析

当地域においては、各地域の中核医療機関の統廃合が予定されているなど動きがあり、災害医療と地域医療双方の側面から対応すべき部分がある。災害医療に関しては全体として不活性化状態の中、どのような協働活動が適切か、基礎的な質的調査を始めた。東濃地区全体として災害医療に関して意識が低い。その一方で、本聞き取り調査を通じて、他市では医療機関を中心に積極的な災害医療への取り組みがあることがわかってきた。

3.2.5 大規模地震後における高齢者の健康に関して～要介護度の変化と環境や行動等の関係について～

要介護度有の階層において、近所付き合い、役場との関係、介護施設との関係と調査対象者の健康意識について分析したところ、調査時の健康意識と近所付き合いとの関係に関して χ^2 二乗検定では、有意差が認められた。また、将来の健康を予測するため、調査時の健康意識、移動月数、移動回数の三要素で重回帰分析を行った。

3.2.6 熊本地震被災住民における健康と生活について―被災地での調査から―

熊本地震においては復興の過渡期にあり、災害後1年を経て「熊本地震後の健康と生活に関する調査」を被災自治体との協力で行った。結果と考察を述べた。

3.2.7 地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会

地域地震防災基準に関する基本問題研究委員会を2019年11月14日（木）13時30分～、11月15日（金）9時50分～、に東濃地震科学研究所（瑞浪国際地科学研究所）1階セミナールームで開催した。出席者は14名で12課題の発表が行われた。東濃地震科学研究所 Seq. No. 45 として出版した。

4. 広報活動など

研究所のホームページを充実するとともに地域社会への情報発信・広報活動を積極的に行った。地元イベント（おもしろ科学館）への参加や「瑞浪市総合防災訓練」へもブースの設置を行うなど参加した。