

**京都大学教育研究振興財団助成事業
成 果 報 告 書**

2021 年 4 月 15 日

公益財団法人京都大学教育研究振興財団

会 長 藤 洋 作 様

所 属 部 局 防災研究所・地震予知研究センター

職 名 助教

氏 名 直井 誠

助 成 の 種 類	令和 2 年度 ・ 研究活動推進助成			
申請時の科研費 研究 課 題 名	稠密地震観測データ解析と地震活動モデル構築による前震の意義の検証			
上記以外で助成金 を 充 当 した 研 究 内 容	室内水圧破碎実験で生じた微小破壊データ解析に対する深層学習技術の適用			
助成金充当に関 わる共同研究者	(所属・職名・氏名) エネルギー科学研究科・助教・陳友晴			
発表学会文献等	(この研究成果を発表した学会・文献等) Rui Tanaka, Makoto Naoi, Youqing Chen, et al. (2021) Preparatory AE activity of hydraulic fracture in granite with various viscous fluids revealed by deep learning technique, Geophys. J. Int., accepted. (Corresponding Author, M. Naoi).			
成 果 の 概 要	研究内容・研究成果・今後の見通しなどについて、簡略に、A4版・和文で作成し、添付して下さい。(タイトルは「成果の概要／報告者名」)			
会 計 報 告	交付を受けた助成金額	1,000,000	円	
	使用した助成金額	1,000,000	円	
	返納すべき助成金額	0	円	
	助成金の使途内訳	費 目	金 額	
		計算機	386,980	
		英文校閲費	67,790	
		PC周辺機器	102,174	
		書籍・文具類	20,641	
データストレージ		385,000		
	ソフトウェア・ライセンス	31,431		
	レンタルサーバー代	5,984		
当財団の助成に つ い て	(今回の助成に対する感想、今後の助成に望むこと等お書き下さい。助成事業の参考にさせていただきます。) 本助成があることで、やや大型の科研費(基盤研究B)にチャレンジすることができ、2021年度に採択して頂くことができました。本助成がなければおそらく基盤Cでの申請をしており、より挑戦的な課題にチャレンジする後押しをしていただいたと感じています。波及的な内容についても支出が可能だったことで、これまで行ってきた別課題と、新規課題の中間的な研究に関する支出ができたことも、非常にありがたかったです。現在の制度は非常によいと思いますので、是非継続をお願いできればと思います。			

成果の概要／直井誠

大地震の発生予測とその確率評価においては、本震に先立って発生する前震が活用できると期待されてきた。しかし近年、従来前震とよばれていたものは、ある地震が別の地震を誘発する効果の足し合わせによる統計の「あや」として見えるものであり、大地震の発生とは因果関係がない可能性が、地震の誘発効果を導入したモデルで示された。これは、前震の検出による決定論的な大地震発生予測が不可能であることを示唆する重要な結論だが、先行研究のモデルにおいては導入すべき様々な効果が含まれておらず、モデルの改善と実データでの検証が必要である。

先に申請した科研費の研究計画では、地震発生予測において前震が果たしうる役割を明確にすることを目的として、これまで申請者らが独自に取得した世界に類を見ない稠密地震観測データに、機械学習やデータマイニング手法によるデータ処理手法を適用して、非常に高品質の地震カタログを作成し、検証を行う予定であった。残念ながら 2020 年度は不採択であったが、本助成を活用して関連する、以下の 2 項目の研究を実施した。

1. 稠密地震観測データに対する深層学習による地震波形切り出しと走時検測

近年発表された学習済みの走時検測・イベント検出を同時に行う深層学習ネットワークを用い、独自の稠密余震観測データに適用を試みた。再学習をせずとも良い検測精度が得られることが確認できたため、得られた多数の検測データから、個別の地震に対応するものをグルーピングする別の学習済みネットワークを適用し、その結果を用いて震源決定を行った。数万を超える多数の震源を決定できたが、異なる地震に関する走時を誤ってグルーピングするケースが多く見られ、そのため震源決定精度が低下していることが確認された。良い震源を得るためには、走時のグルーピングをより適切に行う手法の開発が必要であることが明らかとなったため、深層学習、あるいは別の手法による解決を模索中である。

2. 室内水圧破碎実験において検出された微小破壊データへの深層学習技術の適用

室内実験や数十～数百 m 規模までの比較的狭い範囲での破壊現象の観察には AE (Acoustic Emission) センサが用いられる。AE センサは地震計より感度が良く微小な破壊を検知可能だが、特性が複雑で、接着手法・状況の影響を強く受けるため、波形を使った詳細な解析が難しい。これらの課題を克服し、室内水圧破碎実験中に生じる AE のモーメント・テンソル解析を実現した。また、室内実験では、1 回の実験で数千～数万個の AE が検出できることもあり、手動による処理は困難で、精度の良い自動処理手法が求められる。本研究では、モーメント・テンソル推定を自動化するために、深層学習を用いた P 波初動極性読み取りを導入し、トータル 5 万個を超える大量の AE の MT 解の推定に成功した。これによって AE 活動及び発震機構解の詳細な時間変化を明らかにすることで、水圧破碎による亀裂造成プロセスの詳細を描き出すことができた。測定された微小破壊活動や支配的なモーメント・テンソル解は顕著な時間変化を示し、また実験に用いた岩石の種類によって、これらの特徴が顕著に異なることも確認された。このような違いは破碎流体と既存亀裂の相互作用の強さの違いによって現れると解釈している。なお、本研究では深層学習技術の適用は P 波初動極性の読み取りのみに対して行ったが、同技術はイベント検出、走時検測、ノイズ除去等にも適用できると見込まれる。現在、これらの処理には古典的な自動処理技術を用いており、うまく処理できなかったために解析から除いているイベントが多数存在している。深層学習技術の適用による精度向上に成功すれば、より多くの AE を用いて、より高い時空間分解能で現象を調べることが可能となる。今後は、そのような課題にも取り組む予定である。