

# 地震本部関連会議資料

2020年4月20日

地震調査研究における情報科学との  
連携状況に関する海外調査

# 会議資料目次

---

## 【調査目的・調査結果】

1. 調査目的
2. 調査アプローチ
3. ヒアリング訪問先と選別理由
4. 調査結果概要

## 【調査結果まとめ】

5. 情報科学(AI)を用いた地震研究の動向
6. 地震調査研究への情報科学活用促進／ファンディング・プログラムにおける課題

## 1.調査目的

国内における情報科学を活用した地震調査研究の促進に資する示唆を得ることを目的として調査を実施

- 地震調査研究推進本部では、「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策(第3期)―」を令和元年5月31日に決定
- この中で新たな情報科学分野の知見を積極的に取り組んでいくことにより、地震の調査研究を推進していくべきであるとしている
- 近年IoT、ビッグデータ、AIといった情報科学分野を含む技術の著しい進展も踏まえ、従来技術に加え、新たな科学技術を活用して、防災・減災の観点から社会に貢献することが期待されている

地震調査研究の展開方策の検討に資する示唆を得ることを目的として、  
情報科学との連携動向について米国・欧州のファンディング機関及び地震研究者について調査を実施

※今回調査は情報科学（AI）を用いた地震研究及びファンディングの概況調査が目的となります。  
各研究内容につきましては、概要レベルでの記載とさせて頂いておりますので、予めご了承ください。

## 2.調査アプローチ

文献調査によりファンディング機関の動向と研究事例を把握し、主要と想定されるファンディング機関・研究者に対してヒアリング調査を実施

### 文献調査

### ヒアリング調査

#### I ファンディング機関調査

#### 米国

国家地震被害軽減プログラム(NEHRP)において、地震調査研究・ファンディングの主な担当かつ、地震研究への情報科学(機械学習等)を進める下記2機関を調査

- ✓ National Science Foundation (NSF)
- ✓ United States Geological Survey (USGS)

#### 欧州

欧州全体を対象に研究・イノベーション支援を行う「Horizon 2020」の担当機関と原子力関連で当該領域の研究が活発である仏ファンディング機関を調査(下記3機関)

- ✓ European Commission (EC)
- ✓ European Research Council (ERC)
- ✓ French National Research Agency (ANR)

#### II 研究事例調査

主に下記3点の方法で研究事例を調査

- ✓ ファンディング機関における研究事例
  - ✓ Google Scholarにおける、検索結果(6パターン)から関連度の高い研究者を抽出(上位5名)
  - ✓ Science誌、Nature誌、Geoscience Frontiers誌、などの記事・論文(レビュー論文含む)から研究者を抽出
- ※「Earthquake」or「seism」に下記キーワードを追加して検索  
(「artificial intelligence」or「machine learning」or「big data」)

文献調査結果を踏まえ、主要と想定されるファンディング機関・研究者に対してアポイントを依頼、現地訪問によりヒアリングを実施

### 3.ヒアリング訪問先と選別理由

下記のファンディング機関(5機関)と研究者(6名)に対してヒアリング調査を実施

I  
ファンディング機関

#### 選定方法

前述の全てのファンディング機関  
(5機関)に対して依頼を送付

国	訪問先	主な選定理由
米国	NSF (EarthCube Program担当者、 Geoinformatics Program担当者)	米国主要ファンディング機関
	USGS (Earthquake Hazards Program担当者)	米国主要ファンディング機関
	USGS (NEIC) (Strategic Plan担当者)	(USGSファンディング・プログラム担当者 のアポイントに付随して依頼)
USGS (Volcano Hazards Program担当者)		
欧州	ERC (Physical Sciences and Engineering)	欧州主要ファンディング機関

II  
研究事例 (地震研究者)

#### 選定方法

Google Scholarにおける各研究者の論文数や被引用件数等の定量情報と、各種ジャーナルでの活動やファンディング実績などの定性情報を踏まえ、優先度が高いと想定される研究者(米・欧)へ依頼を送付

国	訪問先	主な選定理由
米国	Paul A. Johnson氏 (Los Alamos National Laboratory)	AI×地震に関する著名な研究者 (研究実績、ジャーナル等の活動)
	Daniel Trugman氏 (Los Alamos National Laboratory)	(LANL所属の Paul Johnson氏 へのアポイントに付随して依頼)
	Gregory C. Beroza氏 (Stanford University)	AI×地震に関する著名な研究者 (研究実績、ジャーナル等の活動)
欧州	Michel Campillo氏 (Grenoble Alpes University)	ERCファンディングPJ「SEISMAZE」代表
	Nikolai Shapiro氏 (Grenoble Alpes University)	ERCファンディングPJ「F-IMAGE」代表
	Piero Poli氏 (Grenoble Alpes University)	ERCファンディングPJ「MONIFaults」代表

■ 主な依頼先ではないが、付随して訪問した機関・研究者

## 4.調査結果概要－National Science Foundation (NSF)



### National Science Foundation

- 設立年月日: 1950年5月10日
- 本部所在地: バージニア州アレクサンドリア
- 概要: 科学・技術を振興する目的で設立された連邦政府機関であり、医学を除く幅広い科学・工学分野に対する基礎研究支援を実施

### 地震×情報科学(AI)に関する主な動向

- 地震学への情報科学技術(AI)に特化したプログラムは無いが、「地球科学分野全般」における情報科学技術の活用をテーマとしたファンディング・プログラムは存在(但し、そのプログラム内で地震への割り当て等は定めていない)
- 情報科学(AI)を活用した地震関連の研究におけるファンディングについては毎年1件程度、件数は毎年同数程度で推移

### ファンディング・プログラム例 : EarthCube

- 【概要】地球科学関連の研究・教育を基に、将来的に必要とされるデータを整備・構築し、理解・予測を推進するプログラム
- 【目的】オープンで透明かつ包括的な方法でデータと知識を共有するための、適切にコネクされた環境を作り上げる
- 【プログラム期間】2011~2022(予算:年1,000万ドル)
- 【対象領域】地球科学×情報科学・工学
- 【応募要件】高等教育機関、民間非営利組織、政府系機関等
- 【ファンディング決定プロセス】
  - ✓ (1次)応募者及び応募内容の関係分野の研究者による審査
  - ✓ (2次)NSFプログラム担当者(委員会のパネル)による承認

### ファンディング事例(地震×情報科学(AI)関連)

プログラム名	研究タイトル・研究概要	代表研究者名	研究期間
GEOINFORMATICS	[Mining Seismic Wavefields] 膨大な量の地震波データについて、機械学習を活用してパターン分析を行うことにより、短期間の内に発生すると想定される地震を予測	Gregory Beroza	2018/5~2019/4
EarthCube	[Scalable Real-Time Streaming Analytics and Machine Learning for Geoscience and Hazards Research] 1500以上の地上観測スコープをデータソースとして機械学習によるリアルタイム分析を行うことで、地震の検知・性質を特定	Charles M Meertens	2019/1~2022/12
		Ivan Rodero	2019/1~2022/12
FRES-Frontier Rsrch Earth Sci	[The Mechanics of Intermediate Depth Earthquakes] 深発地震の研究において、小規模な実験室から得られたデータを機械学習を活用し、スケールアップ及びシミュレーションを行うことで、深発地震メカニズムを理解	Craig D Foster	2019/12~2022/11
Postdoctoral Fellowships	[Properties of the shallow crust around the San Jacinto Fault Zone characterized by joint geodetic and seismic analysis] 高周波形地震波データ等を機械学習を活用し、パターン分析を行うことで、地震を予測	Christopher W Johnson	2017/9~2019/8
I-Corps	[Crowdsourcing sensing of earthquakes] 地震とその他揺れを区別し、サイズと場所を推定、その後、ユーザーにアラートするスマホ通知アプリを開発	Richard Allen	2017/7~2020/12
SAEM <sup>*2</sup>	[Machine Vision Enhanced Post Earthquake Inspection and Rapid Loss Estimation] 地震発生後の鉄筋コンクリートフレームの損壊状況及び修復時間・コストを自動的に計算するアルゴリズムを開発	Reginald DesRoches	2010/8~2014/1
		Laura N Lowes	2010/8~2014/7

## 4.調査結果概要－National Science Foundation (NSF)



<p>訪問日程</p>	<p>2020年2月21日 15:30~16:30</p>	<p>訪問先</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 場所: National Science Foundation(NSF), Virginia</li> <li>■ 参加者: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mr. Keith E. Chanon(Program Director, Office of International Science &amp; Engineering)</li> <li>✓ Dr. Eva E. Zanzler (Program Director, Earth Science Division)</li> <li>✓ Dr. Jennifer A. Wade (Program Director, Petrology &amp; Geochemistry)</li> <li>✓ Dr. Luciana Astiz (Program Director, Earth Science Division)</li> <li>✓ Dr. Steven Whitmeyer (Program Director, Earth Science Division)</li> </ul> </li> </ul>
<p>ヒアリング議事要旨</p>	<p><b>NSFでは研究促進に向けた環境整備(データの利便性など)を推進している。また、地震関連のファンディング応募件数は横ばいである。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 「Geoinformatics」は地球科学におけるデータ管理やAI研究の支援、「EarthCube」は、地球科学におけるデータ利用の利便性を向上し、より良いデータ発見に向けて地球科学コミュニティ全体を動かすことが目的(約73件のプロジェクトがあり、地震関連は毎年1件程度)</li> <li>■ 特に地震の研究テーマにおける割り当てがある訳ではなく、設立当時から地震学のProposalは毎年同数程度で推移している印象である</li> </ul> <p><b>審査パネルの多様化(特に審査体制への情報科学の専門家や若手研究員の組み込み)や、審査の匿名化・フィードバックの提供が重要であると認識している。なお、地震学と情報科学の研究者による共同研究が有効との認識はありつつも、現時点では応募時における要件化などは実施していない。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 「Geoinformatics」の教訓から、審査パネルにはドメイン側(地震学等)と情報科学側の両方が必要になると考えている。</li> <li>■ 審査で重要なのは、若手研究者を必ず入れることである。シニア研究者のみでは見方が偏ったり、革新的な観点を見逃すことや、審査の場を支配(Dominate)してしまうことがあるためである。意見の多数少数、老若によらず、貴重な審査意見であれば取り入れる為である</li> <li>■ 審査はConflict of Interest防止のために、同じ大学の人など関係者は外し、審査は匿名で実施、採用されなかったproposalについては、フィードバックを受領することが可能であり、次の応募にて、改善されたproposalは再検討されたうえで採用される場合もある。</li> </ul> <p><b>米国においては地震学の研究者(特にシニア)による情報科学(AI)の取り入れが課題である。一方でGregory C. Beroza氏やPaul A. Johnson氏などの先駆者が普及啓発における役割を担い、講演や教育環境の整備を進めたことで、米国の「地震×AI」の研究コミュニティを広げている。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地震学の研究者(特にシニア)による情報科学の取り入れは課題であり、ファンディング成功の鍵は地震側と情報科学側を如何にミックス/クロスさせるかだと認識している。</li> <li>■ 米国で情報科学の取り入れが成功した一つの理由として、Gregory C. Beroza氏やPaul A. Johnson氏等、シニア研究者の役割が重要であった。数多くの学会発表等で先駆的な役割を果たしてきており、若手研究者の教育等も率先して行ってきたことによって、「地震×AI」研究コミュニティを広げてきた。</li> <li>■ 若手研究者の教育に関して、Gregory C. Beroza氏やPaul A. Johnson氏は機械学習の講義設定や、ワークショップ開催など、トレーニング環境の整備及び、異なる分野(地球科学分野)を受け入れるような環境整備(プログラム等)を行ってきた。</li> </ul>		

## 4.調査結果概要－United States Geological Survey (USGS)



### United States Geological Survey

- 設立年月日: 1879年3月3日
- 本部所在地: バージニア州レストン
- 概要: 地球科学調情報機関として設立され、水文学、生物学、地質学、地理学における調査・研究支援を実施

### 地震×情報科学(AI)に関するファンディング動向

- Earthquake Hazards Programにおいて、外部の地震関連研究に対する様々なファンディングを実施
- USGSでは情報科学を活用した地震研究に着目し始めてはいるが、当該領域に特化したファンディング・プログラムや予算割り当てなどは、現時点では特に決まっていない(AI活用が増えてきているため、地震×AIへのファンディングは増える傾向との示唆あり)

### ファンディング・プログラム例 : Earthquake Hazards Program

- 【概要】国家地震被害軽減プログラム(NEHRP)の一部として設立
- 【目的】地震におけるモニタリング、影響度及び危険度の評価、因果関係調査を実施し、地震災害による損失を軽減
- 【プログラム予算】6,400万ドル(2020)
- 【対象領域】「地震災害による損失の軽減」を目的とした研究
- 【応募要件】明確な目標が設定された1~2年以内の研究であること。海外研究は、米国に適用可能な知識・技術を指向していること。
- 【ファンディング決定プロセス】
  - ✓ (1次)応募内容の関係分野の研究者による審査
  - ✓ (2次)USGSプログラム担当者(委員会のパネル)による承認

### ファンディング事例(地震×情報科学(AI)関連)

プログラム名	研究概要	代表研究者名	研究期間
Earthquake Hazards Program	<b>Earthquake Monitoring in an Urban Setting Through Deep-Learning-Based Noise Suppression and Back-Projection: Case Study for the Long Beach Dense Array</b> (HP上にプロジェクト概要の記載がなく、進行中プロジェクトのため、詳細は確認できず)	Gregory Beroza	2020/1~ 2020/12
	<b>PhaseNet: Towards Comprehensive P and S Wave Arrival Time Measurement Using Machine Learning</b> 機械学習を用いたP波/S波の到達時間測定	Gregory Beroza	2019/7~ 2020/6

### 主な研究活動(地震×情報科学(AI)関連)

- 国立地震情報センター(NEIC)において、地震観測・データ収集に加え、地震影響の軽減に向けた研究を実施しており、2019年に今後5年間の研究方針を定めた「National Earthquake Information Center Strategic Plan, 2019-23」を発表
- 上記プランにおいて、重点分野(aspirational list)の一つとして機械学習の利用(Use of Machine Learning to Improve Monitoring)を掲げている。

\*1 NEHRPにおける全体の年間予算は164.5百万ドル(2019) \*2 Structural and Architectural Engineering and Materials

## 4.調査結果概要－United States Geological Survey (USGS)



<p>訪問日程</p>	<p>2020年2月21日 10:30~12:00</p>	<p>訪問先</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 場所: U.S. Geological Survey (USGS)本部, Reston, Virginia</li> <li>■ 参加者: Earthquake Hazards Program 担当者                     <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dr. Cecily J. Wolfe (ANSS Coordinator, Associate Coordinator for Earthquake Hazards and Global Seismographic Network Programs)</li> </ul> </li> </ul>
<p>ヒアリング 議事要旨</p>	<p><b>情報科学を活用した地震研究について、USGSでは外部へのファンディング提供と、USGS内部におけるポスドクを対象とした支援を実施している。情報科学を活用した地震研究に着目したきっかけは、着目当時に、情報科学がすでに話題になっており、地震学分野においても適用できると考えたからである。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Earthquake Hazards Programでファンディングを実施している理由は、地震研究者だけではなく、世間でも地震の予測といったテーマは人気であり、情報科学を活用することで、地震予測において新たな結果が出ることを期待している。</li> <li>■ USGSの内部ではMendenhall Research Fellowship Program* の支援を受けているポスドクを対象にし、ファンディング終了と同時に一部の研究者に対し、採用を行っている。(*USGSの科学者とポスドクが共同研究を行うプログラム、USGSの各研究に必要とされる知識があるポスドクに対する支援を実施しており、情報科学(AI)を活用した研究を行うポスドクの採用も行っている。)</li> <li>■ 情報科学(AI)があらゆる分野で既に話題となっており、地震学分野でも地震データの分析に活用できると考え情報科学(AI)に着目した。</li> </ul> <p><b>ファンディング審査はパネルが行うことから、パネル選定を重要視しており、毎年選定を行っている。パネルはファンディング応募者の提案内容に対するフィードバックも担うため、パネルの選定においてバックグラウンドが異なることを重視している。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 選定については、USGSは選定のためのパネルがあり、パネルは「研究責任者(Principal Investigator)の適性」や「予算」、「事業が遂行される確度(Likelihood)、結果をもたらす社会的なインパクト(Social impact)」の要素を考慮し評価する。</li> <li>■ パネルについては毎年変更しており、適任者を得るためにNSFと競合することがある。パネルレビューについて、落選した応募者もフィードバックをもらうことができるため、フィードバック内容を改善し翌年に応募することで、ファンディング先に選定されることも可能であるという観点から、非常に重要である。</li> <li>■ パネルは、Earthquake Hazards Programのコーディネーターが採用しており、分野だけでなく、地域(region)も異なる者を選定する。</li> </ul> <p><b>USGSは、研究コミュニティの構築等、優れた研究環境のおかげで、最先端研究のトレンドを素早くキャッチすることが可能であった、但しファンディング・プログラムについて、限られた予算の中で推進していくことが課題である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 米国は優れた大学と教授のおかげで、研究のトレンドを早くキャッチすることが可能であり、最新トレンドの研究に人が集まってくる</li> <li>■ 情報科学の活用や情報科学関連研究者との協働研究を促すために実施していることとして、政府はトレンドを把握し、ファンディング機関を通して投資するなり、ポスドクを採用するなど、政府、大学、研究者による有機的な作用(organic process)を構築するのも重要である</li> <li>■ 限られている予算の中で抱えている問題は、最先端技術の研究において、如何に実用的に予算を使うかである。</li> <li>■ 地震×AIにおけるファンディングについて、AI活用が増えてきているため、投資は増えると思う(但し、現時点では何も決まっていない)</li> <li>■ 大学や研究者等、応募者側は多少意欲的(aspirational)な部分がある一方で、ファンディング機関側は予算が限られており、優先順位をつけることが難しい。</li> </ul>		

## 4.調査結果概要－USGS・National Earthquake Information Center (NEIC)



<p>訪問日程</p>	<p>2020年2月20日 10:00~11:20</p>	<p>訪問先</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 場所: National Earthquake Information Center (NEIC), Golden</li> <li>■ 参加者: National Earthquake Information Center Strategic Plan 担当者             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dr. Paul Earle (Director of 24/7 Operations)</li> <li>✓ Dr. William Yeck (Research Geophysicist)</li> </ul> </li> </ul>
<p>ヒアリング議事要旨</p>	<p><b>NEICは世界の地震に対するモニタリングに加え、地震研究やシステム開発なども行っている。モニタリングに関してはリアルタイム情報を政府機関や、公共、メディア、学術研究者へ提供している。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ NEICでは、リアルタイムなモニタリングやオペレーションの実施、地震研究、リアルタイムシステム開発を実施しており、各業務を Information Technology部門や、Field Operation部門(観測所の設置及びメンテナンス)が支えている。</li> <li>■ モニタリングについて、世界の地震活動を継続的に(24時間365日)監視し、潜在的な人命の損失と被害に関するほぼリアルタイムの情報について、政府関係者、災害対応機関、公共(Public)、メディア、学術研究者、等に提供する。</li> </ul> <p><b>データシェアはAI活用において重要なポイントであり、米国では地震ネットワークである「Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)を通じてデータがシェアされており、研究者は容易にアクセスすることが可能である。一方で、日本はデータへのアクセスは可能ではあるが、承認を得る必要があるため、データ収集が不便である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ データシェアについて、米国では地震データをオープンにしている。USGSの観測所から収集されたデータは「IRIS」に共有され、「IRIS」にて、地震データ、アーカイブデータ、リアルタイムデータ等を収集することが可能である。</li> <li>■ 「IRIS」のデータは誰でも簡単にアクセスできる。日本はデータを公開しているが、開示の都度現地に依頼することが求められるため、常時(随時)のデータへのアクセスが容易ではないという点は残念な部分である。データシェアはAIの活用において、最も重要なポイントである。</li> </ul> <p><b>USGSでは重点分野(aspirational list)を含むStrategic Planを策定。研究者の意見を反映するボトムアップ形式で策定されており、地震学はデータセットが豊富で情報科学(AI)を適用し易く、USGSのオペレーションにも役立つと判断され、重点分野として選定された。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ USGSでは地震学において特別なトピックを選定し会議を開催しており、この会議でStrategic Planの重点分野に地震監視における情報科学の活用を含めることに決定しており、USGSのオペレーションにおいて役立つと判断したことが背景となっている。</li> <li>■ 重点分野については、毎年USGS会議にて、ボトムアップ形式で選定が行われる。</li> <li>■ 地震学はデータ及びデータセットが豊富でAIを適用しやすいことから、重要だと考えており、Strategic PlanでもKey Goalとして記載された</li> </ul> <p><b>現在は情報科学(AI)を取り入れるため、ポスドク採用を進めることに加えて、既に研究を進めている外部の研究者(Zachary Ross氏)から、情報科学(AI)の知見を得ている。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mendenhall Research Fellowship Programは、ポスドクをターゲットとの一部として考慮しており、採用された場合、USGSで2年の研究を行うことになり、USGSの業務の中で、「システムの開発」だけではなく、「研究・調査」も担当する。</li> <li>■ NEIC Researchでは、外部(大学や国の研究機関、国際ネットワーク等)の協力を得ている。</li> <li>■ 地震データの分析に機械学習を活発に活用している研究者であるZachary Ross氏(Caltech)に問い合わせをすることもある。</li> </ul>		



## 4.調査結果概要－European Research Council (ERC)





**European Research Council**

- 設立年月日: 2007年
- 本部所在地: ブリュッセル
- 概要: 最先端研究分野において、世界中の卓越した頭脳を持つ研究者を支援する目的で、第7次研究枠組み計画であるFP7の一環として創設

**地震×情報科学(AI)に関するファンディング動向**

- 最先端研究分野において、研究機関や研究者から研究テーマを公募し、第三者審査を経て助成する「競争的資金配分」を実施
- 機械学習を活用した地震の観測・予測等に関する研究の提案を受け、ファンディング支援を提供(直近ではAI関連が増加していることから、今後のファンディングが増える可能性がある)と示唆

**ファンディング・プログラム例 : Starting / Consolidator / Advanced / Synergy Grant**

- 【目的】最先端研究分野で卓越した頭脳を持つ研究者を支援
- 【応募要件】プログラム毎に博士号の年次を設定 (Starting 2~7年、Consolidator 7~12年、Advanced 12年~)  
※Synergy Grantは野心的な研究課題を共同で解決するための、2~4人のPIが集まった少人数のグループを支援するプログラム
- 【ERC全体予算】130億ユーロ(2014~2020)
- 【ファンディング決定プロセス】
  - ✓ (1次)提案書のサマリーについて、パネルのリモート審査
  - ✓ (2次)提案書について、パネル会議(ERC本部)での審査

### ファンディング事例(地震×情報科学(AI)関連)

プログラム名	研究概要	代表研究者名	研究期間
Advanced Grant	<b>F-IMAGE</b> 情報科学(Ai)の活用を含め、既存の高品質の地震観測を使用し、地殻構造の特性だけでなく断層ダイナミクスを明らかにする新しい機能的イメージング手法を開発	Michel Campillo	2017/10~ 2022/9
	<b>SEISMAZE</b> 地震性微動研究における新しいフレームワーク構築を目的として、データマイニング、信号処理などを組み合わせた手法に火山性およびテクトニック微動に関するさまざまな大規模データセットを適用し、高性能コンピューティングを必要とする大規模分析手法を開発	Nikolai Shapiro	2019/1~ 2023/12
	<b>TECTONIC</b> 実験室での地震予知を参考とし、テクトニック破壊におけるスペクトルの予測を改善	Chris MARONE	2020/1~ 2024/12
Starting Grant	<b>MONIFaults</b> 地震学的データおよび測地学的データを使用し、実際の断層の弾性特性の時空間進化を監視するための新しい方法を開発。断層の未知の物理プロセスの解明のため、機械学習を活用予定。	Piero Poli	2019/1~ 2023/12

## 4.調査結果概要－European Research Council (ERC)



<p>訪問日程</p>	<p>2020年2月28日 10:00~11:00</p>	<p>訪問先</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 場所: European Research Council, Brussel</li> <li>■ 参加者: Physical Sciences and Engineering 担当者                     <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mr. Jose Labastida (Head of Scientific Department)</li> <li>✓ Dr. Claudia Alves Jesus-Rydin (Research Programme Agent)</li> <li>✓ Mr. David Torres (International Relations Officer)</li> </ul> </li> </ul>
<p>ヒアリング議事要旨</p>	<p><b>ERCは最先端研究分野のファンディングを実施しており、研究者自身が最新テーマを追求すべきとの考えから、研究領域や研究テーマは定めていない。研究責任者の経歴等に応じたファンディング・プログラムを用意しており、EU加盟国以外の研究者についても、条件に応じてファンディングを実施することがある。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ファンディングの領域については、特に優先順位は無く、数学、歴史、科学等、全ての分野を対象としている。研究責任者の経歴に応じて、対象のファンディングが異なる。Starting、Consolidator、Advanced、Synergyの4つのカテゴリに分類されている。</li> <li>■ 日本の様な第3国の研究者においても、Synergy grantに参加することが可能。EU外部からの研究者の参加により、EU内部だけでは考慮していないトピックを取り寄せる可能性がある等、欧州の研究において、さらなる刺激を与えることが可能だと考えている。</li> <li>■ 応募要項で研究テーマや領域が特に決まっていない理由については、ERCは研究者自らが最新テーマを追求し、モチベーションを持てる研究テーマでなければならないと考えており、ERCはファンディング通じてその様な研究環境を整備することに力を入れている。</li> </ul> <p><b>地震研究をターゲットとしたファンディング・プログラムはなく、地球科学におけるプロポーザルの推移は横ばいであるが、AI関連の割合は高くなってきている為、情報科学を活用した地震関連研究への今後のファンディングは増える可能性がある。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ プロポーザルについて、全体の提出数は毎年同様であるが、AI関連のプロポーザルの割合が高くなっていることを認識している。</li> <li>■ ERCは、特定領域を定めている訳では無い為、情報科学を活用した地震関連の研究テーマのみをターゲットとしたファンディングを実施することは無いが、直近ではAI関連のプロポーザルが増加していることから、今後のファンディングが増える可能性はあると考える。</li> </ul> <p><b>プロポーザルはパネルが審査を行うが、少人数で地球科学全般の審査を行わなければならないという問題があり、情報科学に関して外部に意見を求めることもある。また審査パネルは、ダイバーシティの観点を踏まえながら採用することが重要である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 最初の審査は個別に書面で行い、次にブリュッセルで書面審査結果を共有、全研究者のプロポーザルの議論を行った上、革新的かつ創造的なプロポーザルの選定・順位付けを行う。パネルの専門でない領域の審査は(コンピュータサイエンス等)、外部に意見を求めることもある。</li> <li>■ プロポーザルの審査を行うパネルは、ダイバーシティの観点から採用することを勧める。パネルのダイバーシティを維持することにより、審査において、異なるインサイトで物事を判断することが可能になるため、重要であると思う。</li> </ul> <p><b>審査負担の軽減を目的として、低評価のプロポーザルは翌年応募できないといった規定の設定や、採用されなかったプロポーザルへの匿名フィードバックを行っている。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 審査終了後、応募者にはフィードバックを匿名で提供する。審査は、限られているパネルで行われていることから、Step1審査で落ちたプロポーザルは低評価であれば2年以内、そう無くて翌年は応募できない規定があり、Step2審査で落ちた場合は翌年にも応募可能。</li> </ul>		

## 4.調査結果概要－Stanford University:Gregory C. Beroza氏



**Gregory C. Beroza**

**Professor, Geophysics**

Department of Geophysics, Stanford University

- Ph.D, Geophysics, Massachusetts Institute of Technology
- B.S., Geophysics, University of California at Santa Cruz

### 専攻

- 地球物理学

### 研究テーマ(地震×AI)

- 地震波データの機械学習分析による、地震の観測及び予測における研究

### 地震×AIに関する主な活動

- 主にスタンフォード大学の研究室にて、地震の観測・予測において、地震の機械学習を活用した研究を実施 (NSF等からファンディングを受領)
- Nature(2018.8.29):地震研究にAIを活用した先端研究者として紹介及び、コメントが掲載
- Science(2019.3.22):地震の観測・予測における人工知能システムの活用について、レビュー論文を掲載

### 研究事例①:

#### **CRED: A Deep Residual Network of Convolutional and Recurrent Units for Earthquake Signal Detection**

- 発表日:2019.7.16
- 発表者: S.Mostafa Mousavi, Weiqiang Zhu, Yixiao Sheng, **Gregory C.Beroza**
- 研究内容:  
ニューラルネットワークをベースとした地震検出手法 (Cnn-Rnn Earthquake Detector (CRED))を開発。既存の検出方法 (STA/LTA、テンプレートマッチング、FASTアルゴリズム)と比較し、効率的で信頼性の高い検出結果を得られた。

### 研究事例②:Seismic signal denoising and decomposition using deep neural networks

- 発表日:2019.8.15
- 発表者: Weiqiang Zhu, S.Mostafa Mousavi, **Gregory C.Beroza**
- 研究内容:  
ニューラルネットワークをベースとした、ノイズ除去/分離手法である「DeepDenoiser」を開発。地震信号と非地震信号(ノイズ)の周波数帯域が同じであっても、識別が可能となった。

## 4.調査結果概要—Stanford University: Gregory C. Beroza氏



訪問日程	2020年2月18日 9:00~10:30	訪問先	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 場所: Stanford University The Earth Sciences Mitchell Building</li> <li>■ 参加者: Dr. Gregory Beroza</li> </ul>
------	--------------------------	-----	---

ヒアリング 議事要旨	<p><u>(地震×AIの研究は)機械学習の適用方法により分類すると、「Automation」、「Modeling」、「Discovery」に分類することが可能である。Gregory C. Beroza氏自身の研究としては、これまでは比較的に取り組み易い「Automation」に関する研究を実施してきており、近年「Modeling」についての研究を開始している。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 「Automation」は、地震フェイズのピッキング、ノイズから地震シグナルの分離等が該当する。AIはそもそもAutomationのために開発されたものであり、このカテゴリは、地震学の問題や課題にAIの適用が比較的に優しく、成果を得やすい。主にこのカテゴリを研究している。</li> <li>■ 「Modeling」は、また、「Simulation」と「Inversion」の分け方で考えられる。「Simulation」については、例えば、波動方程式を3次元で解く際は、数多くのコンピューティングを必要とするが、研究者は機械学習を活用することで近似の解を得ることが可能になり、数百万分の一程度まで時間を短縮することが可能になる。「Inversion」については、地震波を利用した地下構造のイメージング等が該当する。自身の研究チームは、最近このカテゴリ(Modeling)についての研究を行い始めている。</li> <li>■ 「Discovery」は、現在Paul A. Johnson氏のチームが研究を行っているカテゴリであり、地震の発生時間等(time of earthquake)に関連する地震シグナルや新たな情報(new kinds of information)についての調査等が該当する。このカテゴリは、地震学の問題や課題において、AIを活用したアプローチが比較的難しい。</li> </ul> <p><u>情報科学の独学には限界があり、非効率でもあるため、情報科学の人材を連れてくることが重要である。その方法として、大学内部での人脈形成や大学外部での人脈形成を活用している。大学内部に関しては、データサイエンティストを探すために、直接コンピュータサイエンスを専攻している研究者及び学生を自ら訪ねることで、人脈を形成している。また大学外部に関しては、カンファレンスや学会の参加で同じ研究テーマに興味を持つ研究者との人脈形成を積極的に行っている。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 情報科学を研究者が独学することには限界があり、機械学習の長い講義を受けなおすのは時間が無く、非効率である。如何に、情報科学の人材を連れてくるか、マッチングさせるかを考えたほうが良い。時間のある学生、ポスドク同士の連携(地震学×AI)がスムーズである。</li> <li>■ 大学内部に関しては、データサイエンティストを探すために、直接コンピュータサイエンスを専攻している研究者及び学生を探しに行くこともあり、コンピュータサイエンスを専攻している者がGregory C. Beroza氏のホームページを通じて、「地震×AI」の研究について訪ねることもある。</li> <li>■ Stanford University外部に関しては、カンファレンスや学会に参加することで同じ研究テーマに興味を持つ研究者と人脈を形成している。</li> <li>■ 情報科学分野の専門家を地震学分野に寄せる方法について、「地震×AI」のテーマでコンペティションを開催するのが効果的であると考えられる。例えば、中国で開催されたサイズモリンピック (Seismological Olympics) では、約1100 チームを集めることができた。</li> <li>■ また、データサイエンティストの参画を、地震学側が促していることもあり、加工しやすいような形式(HTF5*等)でデータを公開している</li> </ul>
---------------	--

## 4.調査結果概要—Stanford University: Gregory C. Beroza氏



訪問 日程	2020年2月18日 9:00~10:30	訪問 先	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 場所: Stanford University The Earth Sciences Mitchell Building</li> <li>■ 参加者: Dr. Gregory Beroza</li> </ul>
----------	--------------------------	---------	---

ヒアリング 議事 要旨	<p><u>若手研究者は情報科学(AI)の活用に抵抗感が少ない一方で、多くのシニア研究者は懐疑的であることや、国際的な研究を行う際にデータシェアリングで苦労した経験がある。コンペティションの開催によって情報科学(AI)の研究者を地震学に呼び込もうとする取組みがあるが、引き寄せた研究者を地震学分野に定着させることが課題である。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地震学の研究への情報科学の活用について、米国でもシニア研究者とジュニア研究者のアプローチは異なる。ジュニア研究者については、データサイエンスの活用に抵抗感が少ないが、シニア研究者はPaul A. Johnson氏を初め一部の研究者以外は多少懐疑的である。</li> <li>■ 国際的な研究を行う際に、データシェアリングで苦労したことがある。メキシコ、インド、中国などの国々は地震学研究において興味深い場所であるが、データシェアリングに問題がある。日本のデータはオープンであるが、収集しにくい問題がある。</li> <li>■ コンペティション等で引き寄せたデータサイエンティストを、地震学分野に定着させるのは難しく、今後の課題である。</li> </ul>
-------------------	--

## 4.調査結果概要－LANL: Paul A.Johnson氏



**Paul A.Johnson**  
**Geophysicist**

Los Alamos National Laboratory

- Ph.D., Physical Acoustics, La Sorbonne, Université Pierre et Marie Curie (Paris 6)
- M.S., Geophysics, University of Arizona
- B.S., Geology, University of New Mexico

### 専攻

- 地質学、地球物理学

### 研究テーマ(地震×AI)

- アコースティックエミッション等、波形データの機械学習分析による、地震の観測及び予測における研究

### 地震×AIに関する主な活動

- 主にLos Alamos National Laboratory(以下、LANL)で、地震の観測・予測において、機械学習を活用した研究を実施
- The New York Times(2018.10.26) : 米国内の地震予測研究の動向を示した記事にて、地震の予測の研究において機械学習を活用している先端研究者として紹介され、コメントが掲載
- Quanta magazine(2019.9.19) : 地震の観測・予測においてAIを活用している研究者として紹介・コメント掲載
- その他、Science(2019.3.22)にて、レビュー論文を掲載

### 研究事例①:

#### **Machine learning predicts laboratory earthquakes**

- 発表日:2017.9.28
- 発表者: Bertrand Rouet-Leduc, Claudia Hulbert, Nicholas Lubbers, Kipton Barros, Colin J. Humphreys, **Paul A. Johnson**
- 研究内容:  
機械学習を活用し、従来はノイズと見なされていた新たな地震の発生タイミングを示す信号を発見。具体的には、大量のアコースティックエミッションデータをランダムフォレスト(機械学習)で解析し、地震発生までの時間とアコースティックエミッションの状態に相関があることを発見した。

### 研究事例②:

#### **Continuous chatter of the Cascadia subduction zone revealed by machine learning**

- 発表日:2018.12.17
- 発表者: Bertrand Rouet-Leduc, Claudia Hulbert, **Paul A. Johnson**
- 研究内容:  
GPSデータと地震データを組み合わせ、機械学習により分析(実験室内の模擬実験において開発した手法を採用)することで、カスケード沈み込み帯の微弱な振動信号に、スロースリップによる断層の変位速度を示す情報が含まれていることを確認した。

## 4.調査結果概要－LANL: Daniel Trugman氏



**Daniel Trugman**  
**Richard P. Feynman Postdoctoral Fellowship**  
 Los Alamos National Laboratory  
 > Ph.D., Geophysics, UC San Diego  
 > M.S., Geophysics, UC San Diego  
 > B.S., Geophysics, Stanford University

### 専攻

- > 地球物理学

### 研究テーマ(地震×AI)

- > 地球科学、地震学のデータ分析における機械学習の活用(観測・予測・余震等)

### 地震×AIに関する主な活動

- > 主にLos Alamos National Laboratory(以下、LANL)で、地震の観測・予測において、機械学習を活用した研究を実施
- > Seismological Research Letters(2018.12.14):地震学における機械学習の現在のアプリケーションの概要を説明する論文を掲載
- > AGU Fall Meeting 2019にて、「earthquake rupture」におけるニューラルネットワークの活用をテーマとして研究を行っていることを確認(詳細不明)

## 4.調査結果概要－LANL: Paul A.Johnson氏 / Daniel Trugman氏



訪問 日程	2020年2月19日 9:00~10:30	訪問 先	<p>Los Alamos National Laboratory (LANL), New Mexico</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Paul A. Johnson</li> <li>✓ Daniel Trugman</li> <li>✓ Bertrand Rouet-Leduc</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Christopher X. Ren</li> <li>✓ Claudia Hulbert</li> </ul>
----------	--------------------------	---------	--

ヒアリング 議事要旨	<p><b>情報科学(AI)の活用をし始めたきっかけは、新たな地震信号の発見のためであり、情報科学の活用により、以前までは重要視されて無かったデータに価値があることを発見した。情報科学を取り入れるため、LANL内部だけでは無く、学会への参加やコンペティション開催を通じて、外部の人材ネットワークも積極的に活用してきた。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 情報科学(AI)を活用するきっかけは、地震波の到達を分析するためであり、既存の地球物理学の方式では、新たな地震信号の発見などにおいて行き詰まりを感じたためであり、LANL内部の人材ネットワークを活用し、機械学習の活用に手がけることが可能であった。</li> <li>■ 情報科学を活用する研究者と共同研究を行う前は、地震発生直前のデータに注目していた。情報科学を活用する若い研究者達の要望により、全データを機械学習で分析することで、以前はノイズと認識されていた、地震発生直前ではないデータに価値があることを発見した。</li> <li>■ AGU Fall Meeting等への参加や、KAGGLE Competition等のコンペティションを開催することで、LANL外部の人材ネットワークの拡大についても注力してきた。コンペティションを開催し、受賞した研究者については、LANLでの研究機会を与えている。</li> <li>■ AGU Fall MeetingやLANL主催カンファレンス等で情報科学を活用した地震研究について発表しており、情報科学・数学・材料科学のバックグラウンドで、地震に興味を持つ若い学生が良く集まり、Rouet-Leduc氏、Hulbert氏、Barros氏等の人脈が形成された。</li> </ul> <p><b>シニアの地震研究者における情報科学の受け入れは課題であり、情報科学に対するマインドセットが重要である。情報科学(AI)を活用する際には、地震学研究者は多忙なこともあり、情報科学の専門家や情報科学を専攻している学生とペアを組むことが効率的である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 既存の地震研究者は、まず情報科学を受け入れることを恐れないことが重要である。地震学のシニア研究者はカンファレンス等に参加し、地震研究におけるトレンドを把握する努力が必要である。</li> <li>■ 研究者達は色々な理由で忙しいこともあり、自己学習を通じてスキルを身に付けたり、研究で成果を得るのは現実的に難しいため、情報科学を活用した研究を行うにあたって、必ず情報科学の専門家とペアを組むことを推奨する。</li> <li>■ 上記の理由により、チームを組む際には、自身は地震学におけるディレクターとして参加し、情報科学の専門家と適切にコミュニケーションを行い研究の方向性を仕切りにしている。</li> </ul> <p><b>地震データの収集について、米国は地震データのアクセスが簡単であり、収集しやすいが、日本の地震データはアクセスが難しく、データを収集しにくいいため、改善が必要と考えられる。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地震データの収集について、米国はオープンリソースになっており、「IRIS」等で簡単に収集できる。米国はGPSデータ等、基本的には収集しやすい環境になっており、ファンディングを受けているプロジェクトの地震データについては、自動的に「IRIS」にアーカイブ化される。</li> <li>■ 日本の地震データセットは、入手方法が米国と異なるため、データの収集を難しくさせている</li> </ul>
---------------	--

## 4.調査結果概要－Grenoble Alpes University: Michel Campillo氏



**Michel Campillo**  
**Professor, Geophysics**  
 ISTERre, Grenoble Alpes University  
 > Ph.D., Geophysics, Grenoble Alpes University

### 専攻

- > 地球物理学

### 研究テーマ(地震×AI)

- > 地震データの分析において、機械学習を活用し、地震の検出及び観測における研究

### 地震×AIに関する主な活動

- > 主にグルノーブル大学の研究室にて、地殻変動及び震源に関する研究等、地震の観測において、機械学習を活用した研究を実施
- > ERCファンディングプロジェクト「F-IMAGE」(2017~2022)の担当者であり、地震の観測・予測において、地震学及び測地学データの分析に機械学習を活用
- > AGU Fall Meeting2019にて、地震信号(seismic signals)において、ニューラルネットワーク及びディープラーニングを活用した研究を行っていることを確認

### 研究事例

#### F-IMAGE: Seismic Functional Imaging of the Brittle Crust

- > 研究期間:2017~2022年
- > 支援機関:ERC—Advanced Grant
- > 支援額:243万€(ユーロ)
- > 研究概要:  
 情報科学(AI)の活用を含め、既存の高品質の地震観測を使用し、地殻構造の特性だけでなく断層ダイナミクスを明らかにする新しい機能的イメージング手法を開発

## 4.調査結果概要－Grenoble Alpes University: Michel Campillo氏



訪問 日程	2020年2月25日 11:00~12:00	訪問 先	Insitut des Sciences de la Terre, Grenoble Alpes University ✓Dr. Michel Campillo
----------	---------------------------	---------	---

ヒアリング 議事要旨	<p><b>地震発生時以外のデータも記録することが可能となり、地震モニタリングの研究が進むようになった。地震発生時だけでは無く、発生時以外の地震データを分析し、地震のモニタリングに活用することを目指し「F-IMAGE」プロジェクトを手掛けている。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ プロジェクト名「F-IMAGE」は、「Fault」と「IMAGE」を合わせた名前である。過去、限られているデータの量の問題により取り組むことができなかったが、データの量の増加により、研究の環境が整うようになった。</li> <li>■ 過去には容量の問題があり、地震計が記録した震動記録のうち、地震が発生時のデータのみをアーカイブ化しており、地震発生時以外の連続的なデータにおける記録はアーカイブ化されていなかったが、現在は両方アーカイブ化することが可能になった。</li> <li>■ 連続的な記録のアーカイブ化により、ノイズベースの微弱な変化も含めて分析するような研究が進むようになり、地震のモニタリングの研究が進むようになった。</li> </ul> <p><b>情報科学の知見を得るため、大学内部や外部での人脈形成を行っている。大学内部に関しては、情報科学の研究機関からの紹介で人脈を形成している。また、大学外部に関しては、カンファレンスの参加やワークショップ開催を通じて、人脈形成を積極的に行っている。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 情報科学に関する知見は、UniversitéGrenoble-Alpes内部のMIAI*から紹介された関係者から得ており、MIAIとの会議を通じて、コンピュータサイエンス研究所の支援を得ることが可能になり、地震におけるシステム開発なども可能となった。</li> <li>■ 外部からの情報科学系の人材とのコネクションを作り上げるための方法として、数学や物理学研究者と学術的な交流を行うプログラムの開催、ポスドク採用等を行っている。</li> <li>■ また、MIAIでのワークショップ開催や、過去10年間 UniversitéGrenoble-Alpes主催でのサマースクール開催を通じて、全世界の研究者とネットワークを構築できるよう努力している。過去数年のサマースクールでは、人工知能の専門家を招待している。</li> </ul> <p><b>地震学を対象としているファンディング機関が少なく、地震学の研究者がファンディングを得ることが難しいため、改善していくことが望ましい。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 国内外の政府等公的機関に対する要望として、ファンディングでは地震学(seismology)は地質学(geology)の下に分類されることが多く、地震学領域でファンディングを得ることは難しいため改善が望ましい。</li> <li>■ ERC等、応募条件として領域を指定していないファンディング機関も存在するが、基本的には地震学のみを対象としているファンディング・プログラムは少ないと認識している。</li> </ul> <p><b>研究を進めるあたり、日本の地震データは特別なフォーマットが採用されている為、収集が難しい点が問題である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 日本の東北大学、京都大学、東京大学(ERI)との共同研究を行った経験があるが、80TBのデータを収集するために、1週間程度の時間がかかった覚えがある。</li> <li>■ 日本のデータは、特別なフォーマットを使用していることも、データの収集を難しくさせる問題だと感じている。</li> </ul>
---------------	---

\*The Multidisciplinary Institute in Artificial Intelligence

## 4.調査結果概要－Grenoble Alpes University: Nikolai Shapiro氏



**Nikolai Shapiro**  
**Geophysicist**

ISTerre, Grenoble Alpes University

- Ph.D., Geophysics, Grenoble Alpes University
- B.S. & M.S, Physics, Moscow Institute of Physics and Technology

### 専攻

- 地球物理学、物理学

### 研究テーマ(地震×AI)

- 地震や火山噴火に起因する地震性微動の研究において、地震の前兆メカニズムを理解するために情報科学(AI)を活用

### 地震×AIに関する主な活動

- 主にグルノーブル大学の研究室にて、地震の観測において、連続したデータの流れから情報を取得するため、機械学習を活用した研究を実施
- ERCファンディングプロジェクト「SEISMAZE」(2019~2023)の担当者であり、地震性微動(seismic tremors)の研究において、情報科学を活用

### 研究事例

**SEISMAZE : Data-intensive analysis of seismic tremors and long period events: a new paradigm for understanding transient deformation processes in active geological systems**

- 研究期間:2019~2023年
- 支援機関:ERC－Advanced Grant
- 支援額:249万€(ユーロ)
- 研究概要:  
地震性微動研究における新しいフレームワーク構築を目的として、データマイニング、信号処理などを組み合わせた手法に火山性およびテクトニック微動に関するさまざまな大規模データセットを適用し、高性能コンピューティングを必要とする大規模分析手法を開発。

## 4.調査結果概要－Grenoble Alpes University: Nikolai Shapiro氏



訪問日程	2020年2月24日 10:00~11:00	訪問先	Insitut des Sciences de la Terre, Grenoble Alpes University ✓Dr. Nikolai Shapiro
------	---------------------------	-----	---

ヒアリング議事要旨	<p><b>地震研究に情報科学(機械学習等)を活用し始めたきっかけは、地震データの分析において、モデル(physical model)を作成するためであり、近年データの質が画期的に改善されたことで、情報科学を取り入れた研究に着目・着手した。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ここ数年の間でデータの質が画期的に改善されたことによって、情報科学を取り入れた研究に着目し、取り掛かった。</li> <li>■ 既存の強震データ(strong earthquake data)等、地震学におけるデータだけではなく、地球科学全般のデータを活用している。</li> <li>■ データの分析において、機械学習を含む情報科学技術を活用し分析することで、新たな観察を期待している。また、過去の膨大なデータにおける自動的な分析を期待しており、アルゴリズムにおいて情報科学を活用し分析を行っている。</li> <li>■ 「SEISMAZE」を通じて、隠れている信号(hidden signals)及び小信号(small signals)の発見を期待しており、これまで意味が無いと思われていた、地震前の短い期間以外のデータに意味があると考えている。</li> </ul> <p><b>情報科学の知識を得るため、自己学習に加えて、大学内外の情報科学人材との協業を行っている。大学外部に関しては、ポスドク採用により地震データ分析が可能な人材を探しているが、情報科学系人材は金融等の他分野との人材の奪い合いが生じており、課題となっている。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 情報科学の取り入れは自己学習が中心であり、それに加えデータ科学に精通した研究者との人脈形成を行っている。「F-IMAGE」、 「MONIFaults」研究チーム等、大学内部での情報交換や、コンピュータサイエンス研究機関「Invia」等、大学外部での人脈形成を活用している。</li> <li>■ また、ポスドクの採用を行うこともあり、地震データの分析が可能な人材を探している。若者の学生及び研究者、特に材料科学を専攻している者の関心が多いと思う。但し、金融、経済等の分野に人材をとられがちであり、人材を探すことはチャレンジである。</li> </ul> <p><b>地震学研究者による情報科学の取り入れに際して、シニア研究者は本人の意思や努力が重要だが、ジュニア研究者に関しては教育環境の整備が重要であると考えている。また情報科学研究者を地震学側に引き込む方法としては、若手向けファンディング・プログラムが有効であり、検討すべき課題である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ シニア研究者に関しては、Beroza氏、Johnson氏(LANL)等の様に、自らが興味を持ち、本人が努力することが一番重要であると思う。</li> <li>■ ジュニア研究者に関しては、地球科学の修士課程カリキュラム等に機械学習を必須カリキュラムとして紹介するのが重要である。</li> <li>■ 情報科学の教育において徹底した(rigorous)教育環境を整備することが最も重要であると思う。</li> <li>■ 情報科学の研究者を地震学側に引き込む方法として、ファンディング・プログラムが効果的と考えられる。</li> <li>■ 但し受領額の大きいファンディング機会は、研究責任者に対して優れた実績が要求されることが多く、実際に若者の研究者がファンディングを得ることは難しい。従って、ジュニア研究者向けプログラムの設立を課題として考えるべきである。</li> </ul> <p><b>日本のデータはリアルタイムのアクセスが困難な為、米国の「IRIS」の様に簡単にアクセスできることが、研究者にとって重要である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 日本のデータはアクセス可能であるが、リアルタイムのアクセスは難しく、データ収集において条件が必要とされることが多い</li> <li>■ 情報科学を取り入れた研究が進む中、リアルタイムデータの活用が増えていくと想定されるため、データアクセスが改善されると良いと思う。</li> </ul>
-----------	--

## 4.調査結果概要－Grenoble Alpes University: Piero Poli氏



**Piero Poli**  
**Geophysics**

ISTerre, Grenoble Alpes University  
Ph.D., Geophysics, Grenoble Alpes University  
M.S., Applied Geophysics, University of Siena  
B.S., Earth Science, university of Siena

### 専攻

- 地球物理学、応用地球科学、地球科学

### 研究テーマ(地震×AI)

- 地震データを情報科学(AI)で分析することで、地震の観測に活用

### 地震×AIに関する主な活動

- ERCファンディングプロジェクト「MONIFAULTS」(2019~2023)の担当者であり、地震の観測・予測において、地震学及び測地学データの分析に機械学習を活用
- AGU Fall Meeting2019にて、地震信号(seismic signals)において、ニューラルネットワーク及びディープラーニングを活用した研究を行っていることを確認

### 研究事例

#### MONIFAULTS : Monitoring real faults towards their critical state

- 研究期間:2019~2023年
- 支援機関:ERC－Starting Grant
- 支援額:39万€(ユーロ)
- 研究概要:  
地震学的データおよび測地学的データを使用し、実際の断層の弾性特性の時空間進化を監視するための新しい方法を開発。断層の未知の物理プロセスの解明のため、機械学習を活用予定

## 4.調査結果概要－Grenoble Alpes University: Piero Poli氏



<p>訪問日程</p>	<p>2020年2月25日 10:00~11:00</p>	<p>訪問先</p>	<p><u>Insitut des Sciences de la Terre, Grenoble Alpes University</u> ✓Dr. Piero Poli</p>
<p>ヒアリング議事要旨</p>	<p><b>情報科学(AI)を活用し始めた理由は、機械学習を活用することで地球科学データを効率的に分析及び管理することが可能となった為であり、地震データ等において、あらゆるコンピュータサイエンス技術を活用し、以前までは得られなかった情報を得られることを期待している。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 「MONIFaults」で分析できるようになることについて、より多くの「地震カタログ」や「クラスタリングの活用」で、より少ないデータ分析で成果を出せるようになることを目指している。</li> <li>■ 意味のある情報を含んでいるデータをクラスター化し、同じようなデータの部分は分析をスキップすることで、分析量を減らし、効率化している。主にイタリアの地震に関して研究を行っているが、実際に現地に訪ねて研究を行うのではなく、研究室にて地震カタログ等の観測データを対象に機械学習を活用し分析を行っている。</li> <li>■ イタリアの断層の観察を行っている理由は、米国のカリフォルニア州、メキシコ、日本の断層とは異なり、テクトニックな動きが遅いことや、イタリアが地震の震源に近いことに着目したためである。</li> </ul> <p><b>情報科学の専門家と課題の解決のために共に勉強することを重要視している。大学内部だけではなく、LANLとの共同研究やGoogle、Facebook等の民間企業と積極的に接点を持つ等、外部のネットワークを活用することも重要である。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ LANLのPaul A. Johnson氏等と機械学習を活用した研究や、情報交換等も行っている。UniversitéGrenoble-Alpesから研究者をLANLに派遣し研究に参加させたり、LANLから研究者を派遣させたりすることでリレーションを構築してきた。</li> <li>■ LANLの他、イタリアの地震学者やUniversity of Southern California (USC) の地震研究者とのリレーションも構築しており、USCには断層のデータを共有してもらっている。</li> <li>■ 情報科学分野の優秀な人材から情報科学技術を学ぶために、ワークショップを開催している。Google等のデータサイエンティストの場合、給料の問題により、大学で採用するのは難しいが、ワークショップ等を通じてネットワークを拡大している。例えば、GoogleやFacebookといった企業に出向いて、関心を集めるような努力をしている。</li> </ul> <p><b>カンファレンス等への積極的な参加によって、関係者とのネットワークを構築することが重要である。また、日本のフォーマットが他の国が使用しているものと異なるという問題があり、不便であると認識している。</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 日本の学者、特に若い研究者には、ワークショップや学会にもう少し積極的に参加することを勧める。Johnson氏(LANL)とのネットワークも、カンファレンスやワークショップで構築した。キーポイントは色々な研究者と関わることによってモチベーションをあげることである。</li> <li>■ 日本の地震データは膨大であるものの、データシェアにおいて、日本のフォーマットが他の国が使用しているものと異なるという問題がある。国際的な研究を行うにあたり、不便であると認識しているため、改善が望ましいと思われる。</li> </ul>		

## 調査結果まとめ

## 5.情報科学(AI)を用いた地震研究の動向(ファンディング動向)

米国・欧州における主要ファンディング機関において、当該領域に特化したプログラムは確認されなかったが、情報科学(AI)を用いた地震研究へのファンディング事例は存在しており、今後件数は増えていく可能性がある

ファンディング機関	地震×情報科学(AI)に関するファンディング状況
 <p>National Science Foundation (NSF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 「Geoinformatics」や「EarthCube」など、地球科学におけるデータ整備・管理やAI研究の支援を目的としたプログラムを有しており、その一環として地震×情報科学(AI)に関するファンディングを実施</li> <li>✓ 特に地震の研究テーマにおける割り当てがある訳ではなく、設立当時から地震学の応募は毎年同数程度で推移</li> </ul>
 <p>United States Geological Survey (USGS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 地震災害による損失軽減を目的とした「Earthquake Hazards Program」において外部研究者へのファンディングを実施しており、その一環として地震×情報科学(AI)に関する事例が存在(プロポーザルに関して、AIを活用する研究が増えてきているという印象あり)</li> <li>✓ またNEICでは「National Earthquake Information Center Strategic Plan」を発表し、重点分野の1つとして機械学習の利用を掲げており、USGS内での研究を推進していく方針</li> </ul>
 <p>European Research Council (ERC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 最先端研究分野において、研究機関や研究者側から研究テーマを公募し、第三者審査を経て助成する「競争的資金配分」を実施</li> <li>✓ 地震×情報科学(AI)をテーマとしたプロポーザルもあり、数件のファンディング事例が存在</li> <li>✓ 地球科学に関するプロポーザルの推移は横ばいだが、AI関連の割合は高くなってきている為、地震×情報科学(AI)への今後のファンディングは増える可能性があると認識</li> </ul>
 <p>European Commission (EC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Horizon2020における主要な支援領域の一つである「社会的課題への取り組み(Social Challenges)」において、地震×情報科学(AI)に関するファンディング事例が数件存在</li> </ul>
 <p>French National Research Agency (ANR)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 物理学や(原論文脈での)地震対策を対象としたプログラムを有しており、その一環として地震×情報科学(AI)に関するファンディング事例が存在</li> </ul>

## 5.情報科学(AI)を用いた地震研究の動向(研究動向)

地震研究において、情報科学(AI)はAutomation、Modeling、Discoveryといった目的で活用されている事例が存在している

分類	概要	事例
Automation	従来は手動などで実行されていた特定タスクの自動化にAIを活用	<p><b>PhaseNet: a deep-neural-network-based seismic arrival-time picking method (2019) – Gregory Beroza</b></p> <p>ディープニューラルネットワークを活用し、既存はアナリストが手動で行っていた、膨大な量の地震フェーズピッキング作業を自動化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 目標: 地震フェーズ(seismic phases)のピッキングを自動化</li> <li>✓ 対象: ノーザンカリフォルニア州の波形データ(waveform data)</li> <li>✓ 研究アプローチ: 地震波形をインプットデータとして使用し、ディープニューラルネットワーク「PhaseNet」で、P波、S波の到着時間の確率分布データを取得および地震フェーズを自動的に分類</li> <li>✓ 成果: 既存はアナリストが手動で行っていた、膨大な量の地震フェーズピッキング作業を、機械学習の導入により、高速かつ高精度で処理することが可能</li> </ul>
Modeling	シミュレーション、インバージョン等にAIを活用	<p><b>Strong Correlation between Stress Drop and Peak Ground Acceleration for Recent M 1–4 Earthquakes in the San Francisco Bay Area (2018) – Daniel Trugman</b></p> <p>地震データセットにランダムフォレストを活用し、地震動の平均的な特性を表すモデルを開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 目標: 表面最大加速度(PGA)と動的応力降下(dynamic stress drop)の関係を調査</li> <li>✓ 対象: サンフランシスコ湾岸地域で発生した5297件の地震における地震データセット(2002~2016年)</li> <li>✓ 研究アプローチ: 各地震イベントごとに、地震イベントの100km以内の観測所でPGAを測定し、同観測所で記録されたP波スペクトルから応力降下を推定。ランダムフォレスト(機械学習)のmixed-effects generalization機能を活用し、中程度(M 1~4)の地震に適用できる地震動予測式(GMPE)を開発</li> <li>✓ 成果: 地震動の平均的な特性をよく表し、計算を容易にするモデルを開発</li> </ul>
Discovery	大量のデータを学習させ、従来と異なる新たな示唆を導出する為にAIを活用	<p><b>Machine learning predicts laboratory earthquakes (2017) - Paul A.Johnson</b></p> <p>大量のアコースティックエミッションデータをランダムフォレストで解析することで、地震発生と一部の音波のつながりに一定のパターンがあることを発見</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 目標: 地震に先行する隠れた信号を特定</li> <li>✓ 対象: 実験室に再現した断層から放出されるアコースティックエミッション(微小破壊による振動)</li> <li>✓ 研究アプローチ: 地震までの残り時間を予測するため、アコースティックエミッションをさまざまな周波数の音波として取り出し、その結果をランダムフォレスト(機械学習)で解析</li> <li>✓ 成果: 地震発生と一部の音波のつながりに一定のパターンがあることを発見。過去の実験では、人間がノイズだと思っていなかった信号が、機械学習により、地震の規模やタイミングを示す重要な信号として発見</li> </ul>

\*ランダムフォレスト: 分類や回帰に使える機械学習の手法。決定木をたくさん作って多数決する(または平均を取る)ような手法

## 6.地震調査研究への情報科学活用促進／ファンディング・プログラムにおける課題

今後の国内展開方策については、下記の様な課題を十分に踏まえた上で、検討していくことが重要となる

情報科学 (AI)の 活用促進	<p><b>対 地震学研究者(シニア)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 情報科学(AI)の活用に対する啓発<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 情報科学(AI)の活用に対して懐疑的な考えを持つ地震研究者も存在しており、関心を持たせることが必要</li></ul></li><li>■ 情報科学(AI)の効率的な学習・取り込み<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 情報科学(AI)について、地震研究者による独学では限界があり、非効率でもある為、情報科学系の人材との連携が必要</li></ul></li></ul>
	<p><b>対 地震学研究者(若手)</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 情報科学(AI)の活用に対する啓発</li><li>■ 情報科学(AI)に関する学習機会の増加<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 大学等において、情報科学(AI)に関する講義が限定的である可能性があり、その場合は拡大が必要</li></ul></li><li>■ 情報科学(AI)を活用した地震研究に関する機会の増加<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 若手は情報科学(AI)活用に積極的だが、実績が少なく、地震学のファンディング自体も少ないことから、機会の拡大が必要</li></ul></li></ul>
	<p><b>対 情報学研究者</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 情報科学(AI)活用先としての地震学のアピール<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 金融、経済等の分野に人材が集中する傾向がある為、地震学への呼び込み／定着を働きかけることが必要</li></ul></li><li>■ 地震学×情報科学(AI)に関するファンディング機会の増加</li></ul>
ファンディング・ プログラムの 運営	<p><b>ファンディング対象</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 地震学・情報科学研究者(若手)に関するファンディング機会の増加</li><li>■ 地震学研究者×情報科学(AI)研究者による共同研究体制の促進<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 新たなアプローチや発見などに繋がる可能性が高まる為、地震学と情報科学の専門家が共同研究を促すことが必要</li></ul></li></ul>
	<p><b>審査体制</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ 多様な視点による評価<ul style="list-style-type: none"><li>✓ シニアかつ地震学の研究者のみでは、視点の偏り、革新的な観点の見過ごしに繋がり得る為、視点の多様化が必要</li></ul></li><li>■ 応募者－審査員間のコンフリクト排除<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 応募者と審査員間に関係がある場合、適切な審査とならない可能性がある為、匿名化などの対策が必要</li></ul></li><li>■ 応募内容の改善<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 採用されなかった案件が改善なく再応募してくる可能性がある為、適切なフィードバック提供などの対策が必要</li></ul></li></ul>