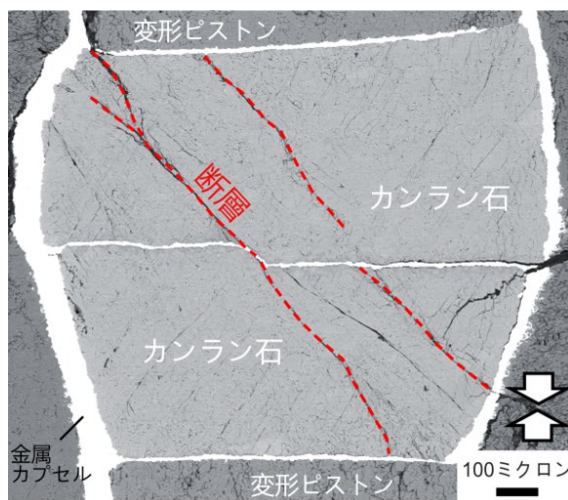


令和 8 年 3 月 31 日  
愛 媛 大 学  
高輝度光科学研究センター

## カンラン石の変形と結晶構造変化が誘起する深発地震 (記者説明会を実施)

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター (GRC) 大学院生の松田光平さん (博士後期課程 2 年)、大内智博准教授と高輝度光科学研究センターの肥後祐司主幹研究員らの研究チームは、今まで不明だった深さ 400~600 km で発生する「深発地震」の発生原因の解明につながる実験に成功しました。本研究では、深発地震が発生する地下条件に相当する高温高圧下での地震発生モデル実験によって、カンラン石が変形する際に起きる“地震性”の結晶構造変化 (新鉱物ポワリエライトへの変化) によって断層が形成され、深発地震の発生に至ることを明らかにしました。

本研究成果は、アメリカ科学振興協会 (AAAS) が出版する科学雑誌「Science Advances」に 4 月 9 日に掲載されます。



つきましては、下記のとおり記者説明会を実施しますので、取材くださいますようお願いいたします。

### 記

日 時：令和 8 年 4 月 2 日 (木) 13 時 30 分から

場 所：愛媛大学理学部総合研究棟 1 共通会議室 (4 階) (裏面)

会 見 者：愛媛大学先端研究院 GRC 准教授 大内智博

愛媛大学工学研究科博士後期課程 2 年 松田光平

愛媛大学先端研究院 GRC 教授・センター長 土屋卓久

※本件に関する報道解禁は、論文公開に合わせた令和 8 年 4 月 9 日 (木) 4 時 (日本時間) となっていますので、ご協力をお願いします。

#### 【本件に関する問い合わせ先】

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター 准教授 大内 智博

電話:089-927-8159 E-mail: ohuchi.tomohiro.mc@ehime-u.ac.jp



記者説明会会場：愛媛大学理学部構内総合研究棟1 4階 共通会議室  
地図内の赤枠で囲まれた建物です。

法文学部・教育学部・社会共創学部・理学部・工学部  
**城北キャンパス**

〒790-8577 松山市文京町3番 TEL 089-927-9000(代)

アイコン凡例 ▲ 出入口 P 身体障害者用駐車場  
P 駐車場 ① 駐輪場 ② 食堂・カフェ

キャンパス内全面禁煙

車の場合、このゲートからお入りください。ゲート横のインターフォンにて取材に来た旨をお伝えください。



本プレスリリース資料や図・写真や説明会当日の発表スライドは  
右の2次元バーコードからダウンロードできます。  
※リンク先は**記者の皆様方のみのご利用**をお願いします。  
※発表スライドは説明会当日以降にアップロードします。



J O H O K U  
C A M P U S

# カンラン石の変形と結晶構造変化が誘起する深発地震

国立大学法人 愛媛大学

公益財団法人 高輝度光科学研究センター (JASRI)

## 【今回の研究成果のポイント】

- ・「深発地震」は多大な被害を引き起こすこともあるが、その発生メカニズムはよくわかっていなかった。
- ・世界で初めて、深発地震が発生する深さ約 580 km までの圧力（約 20 万気圧）条件下でマントル鉱物（カンラン石）が変形・破壊する様子を、X 線その場観察<sup>※1</sup>と微小破壊に伴って発生する超音波（AE）の測定により捉えた。
- ・この結果、カンラン石が変形する際に起きる、新鉱物ポワリエライトへの結晶構造変化で断層すべりが引き起こされ、深発地震発生に至ることがわかった。
- ・地球深部のプレートが激しい変形を被る場所ではカンラン石から新鉱物ポワリエライトへの「地震性の結晶構造変化」が起きやすいために、深発地震が頻発することが明らかとなった。

## 【概要】

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター大学院生の松田光平さん（博士後期課程 2 年）、大内智博准教授と高輝度光科学研究センターの肥後祐司主幹研究員らの研究チームは、今まで不明だった深さ 400~600 km で発生する「深発地震」の発生原因の解明につながる実験に成功しました。深発地震が発生する地下条件に相当する高温高圧下での地震発生モデル実験によって、カンラン石が変形する際に起きる、カンラン石特有の結晶構造変化（新鉱物ポワリエライトへの変化）によって断層が形成され、深発地震の発生に至ることを明らかにしました。特に小笠原諸島の地下へと沈み込む太平洋プレートは深部に激しい変形を被っており、そこでは深発地震が多発していることが知られています。これは、本研究で発見されたカンラン石に特有の「地震性の結晶構造変化」で説明することができます。本研究成果は、アメリカ科学振興協会（AAAS）が出版する科学雑誌「Science Advances」に 4 月 9 日に掲載されます。

## 【詳細】

私達が住む地表のプレート（厚さ約 60 km）はゆっくりと流れるマントル<sup>※2</sup>に浮いているため、マントルの流れと一緒に移動します。プレート同士が衝突したり、プレートが地下深くへ沈み込む過程で地震が発生します。地震は、その震源位置の深さや場所によって分類されます。地表付近（地下 10~40 km）で起きる浅い地震はプレートの境目や陸の直下で度々起きるため、津波を伴う地震や直下型地震を引き起こし、時にはマグニチュード 8 に達することもあるため大きな被害をもたらします。一方、『深発地震』は深さ 300 km 以深の沈み込むプレート内部で起きる地震ですが、その発生頻度は高くはありません。しかし発生した場合にはマグニチュード 7 クラスに達する 경우가多い<sup>※3</sup> 上、『異常震域』（震源から遠く離れているにもかかわらず強い揺れを観測する場所）<sup>※4</sup> を伴うといった特異な性質で知られています。また、深さとともに地震は起きにくくなるのが一般的ですが、深さ 400~600 km では深発地震の発生頻度が例外的に高くなっていることも知られています。そのため、カンラン石<sup>※5</sup>（プレートの中で最も多い鉱物）の結晶構造が圧力によって変化することがきっかけとなって、『深発地震』が起きると考えられてきました。しかし深さ 400~600 km は 13~21 万気圧もの高圧環境下に相当するため、カンラン石を用いた再現実験は技術的に困難でした。

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター（GRC）大学院生の松田光平さん（博士後期課程 2 年）、大内智博准教授（松田の指導教員）と、高輝度光科学研究センターの肥後祐司主幹研究员らの研究グループは、深発地震が多発する深さ 400~600 km のプレート内部に相当する温度圧力条件下（600~1050℃、15~20 万気圧）でのカンラン石の変形実験<sup>※6</sup> を大型放射光施設 SPring-8・BL04B1<sup>※7</sup>にて行いました。この実験では GRC で独自に開発した高圧力環境用の測定技術を用い、カンラン石試料を押しつぶした際に発生する『アコースティック・エミッション（AE）』<sup>※8</sup> という音波を検出することに成功しました。これは、実験中に試料の中に断層が形成されたこと、すなわち実際の深発地震が発生する温度条件下における実験での地震発生を人工的に達成したこと

の証明になります。

通常、地球深部では圧力の上昇によって結晶構造を変化させ、ワズレアイトやリングウッドイトといった名前の鉱物<sup>※9</sup>になります。しかしこの結晶構造変化は高温環境でしか進行しないため、比較的温度の低い深部プレート内部（1100℃以下）ではカンラン石の結晶構造変化は容易に進行しません。しかしそのような深部プレート内部においてカンラン石が変形すると、カンラン石が変形する際にポワリエライト<sup>※10</sup>という別の鉱物（2021年に認定された新鉱物）の結晶構造に一旦変化してから、リングウッドイトに変化することが本研究によって明らかとなりました（図1）。この結晶構造変化の際には、結晶の周囲に多量の熱エネルギーが放出される（図2）ため、局所的な強度低下が引き起こされます。その結果、断層形成と地震が引き起こされる（図1）ことも明らかとなりました。

本研究によって世界で初めて確認された『カンラン石からポワリエライトへの結晶構造変化』は変形によって促進されるといった“特異性”をもちます。小笠原諸島の地下へ沈み込むプレートのうち、激しい変形を被る場所では深発地震が頻発していることが知られていますが（図3）、これはカンラン石に特有の性質ともいえる、『地震性の結晶構造変化』が変形によって促進されることに由来します。沈み込んだプレートの形状は地震観測網によって捉えることができるため、プレートの変形が激しい地域を集中的に監視することで、深発地震の発生時期・発生頻度・規模などをモデル化<sup>※11</sup>していく上での手掛かりが得られるものと期待されます。

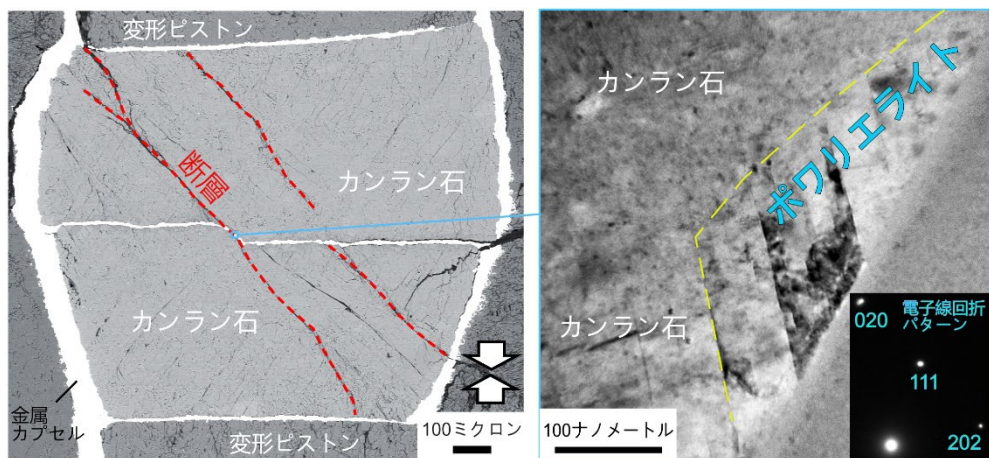


図 1. 15.4 万気圧、850℃の実験環境下にて上下方向からカンラン石試料を押しつぶした際に形成された断層。いずれも電子顕微鏡で撮影。左側：試料全体の写真。試料を横断する断層（赤破線）が見られる。右側：カンラン石の結晶構造が変形することで生成したポワリエライト。図右下は当該結晶がポワリエライトであることを示す、電子線回折パターン像。100 ミクロンは 1 ミリの 10 分の 1。100 ナノメートルは 1 ミリの 1 万分の 1。

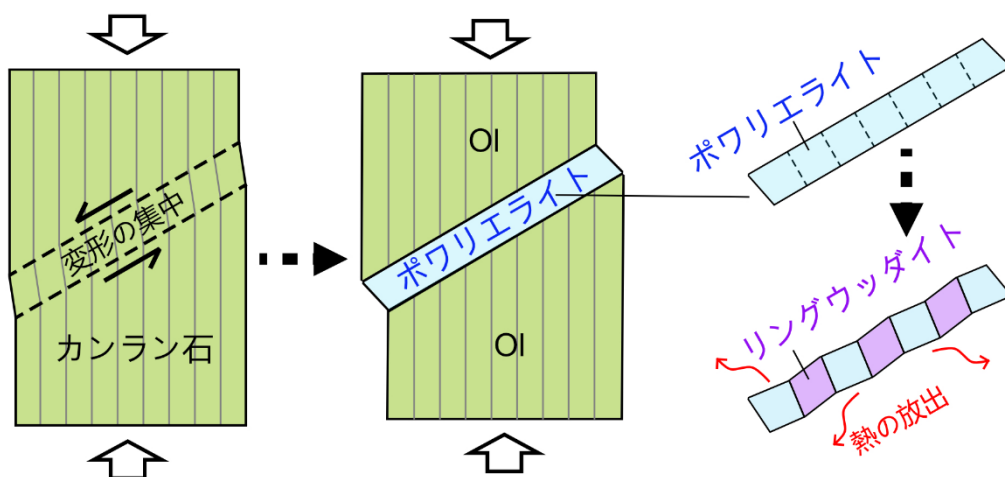


図 2. 深発地震の発生メカニズムの概要。15 万気圧程度の高圧力環境下でカンラン石が変形する際に、変形が結晶の一部に集中する（左図）ことでポワリエライトへと結晶構造が変化する（中央図）。さらにポワリエライトがリングウッドライトへと結晶構造を変化する際に熱が放出される（右図）ことで、断層形成と地震発生に至る。

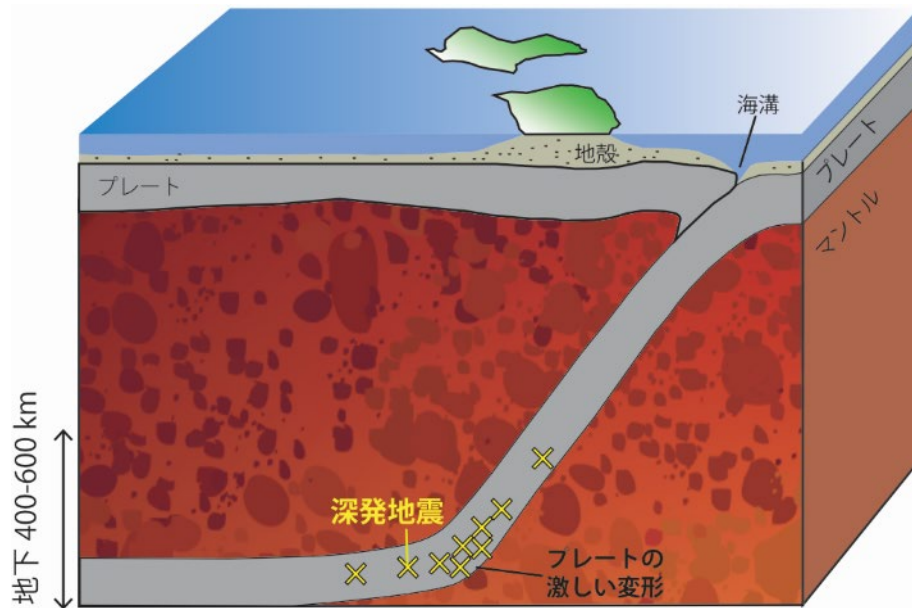


図 3. 列島下に沈み込むプレートと深発地震の概念図。マントル深部へと沈み込んだプレートが折れ曲がる場所（激しい変形を被る場所）では、深発地震が多発することが知られている。本研究の結果より、そのような場所では「カンラン石からポワリエライトへの結晶構造変化」が促進されるため、断層形成及び地震発生が多発しているものと考えられる。

## 【用語解説】

### X線その場観察(※1):

高温高圧実験において、実験試料が変化している最中の様子をリアルタイムでX線を用いて観察する方法。

### マントル(※2):

地球の岩石層であるマントルは最主要構成鉱物の種類に対応して、上部マントル（深さ約 60～410 km）、マントル遷移層（410～660 km）、下部マントル（660～2900 km）の3つの領域に区分される。上部マントルは我々が住むプレートの下に位置するため、上部マントルの流れがプレート移動や沈み込みの原因となる。ちなみに、2900 km より深い部分、中心の深さ 6400 km までは金属（鉄やニッケル）を主成分とする核である。

### 深発地震(※3):

2015年5月30日の小笠原諸島西方沖地震（深さ 682 km、マグニチュード 8.2）をはじめとして、深発地震は規模（マグニチュード）が大きい場合が多い。深発地震は地球深部で起きるために災害に至るケースは少ないものの、1994年6月8日のボリビア深発地震（深さ 631 km、マグニチュード 8.2）のように災害に至るケースもある。

### 異常震域(※4):

深発地震は地球深部へと沈み込んだプレート内部で起きる。プレートは周囲のマントルよりも温度が低いため、地震波が伝わりやすい性質をもつ。そのため、深発地震が起きた場合には、震源に近い側の地表ではそれほど揺れず、震源

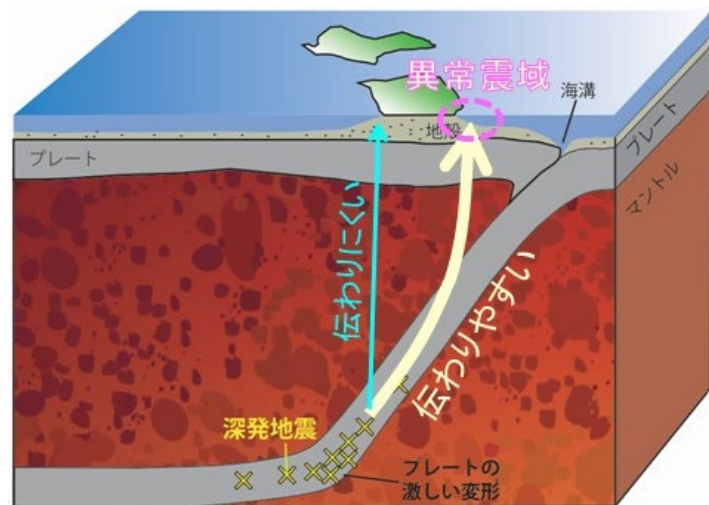


図4：日本列島における異常震域出現の概念図

からより遠い海溝側の地表がよく揺れることとなる。このように震源よりも遠いにもかかわらず、震度が（震源に近い地域よりも）高くなる地域のことを異常震域と呼ぶ。

#### カンラン石(※5) :

カンラン石は上部マントル及びプレートの最主要構成鉱物であり（6～7割を占める）、その化学組成は  $Mg_{1.8}Fe_{0.2}SiO_4$  で表される。マントル遷移層では、同じ化学組成をもつが結晶構造が異なるワズレアイトやリングウッドイトに変化する。

#### 変形実験(※6) :

マルチアンビル型高圧発生装置の一種である、D-DIA 型変形装置（図5）を用いて行う。6つのアンビルを大型のプレスで加圧し、中心に置かれた試料に高圧力を発生させたいえに、その試料を上下方向から押しつぶし、試料を変形させることができる機能をもつ。さらに放射光X線を試料にあてることにより、試料にかかっている圧力、差応力、歪を測定することができる。



図5：SPring-8に設置のD-DIA型変形装置。

#### 大型放射光施設 SPring-8(※7) :

兵庫県の播磨科学公園都市にある世界最高性能の放射光を生み出す理化学研究所の施設で、利用者支援などは高輝度光科学研究センターが行っている。SPring-8の名前は Super Photon ring-8GeV に由来。放射光とは、電子を光とほぼ等しい速度まで加速し、電磁石によって進行方向を曲げた時に発生する、細く強力な電磁波のこと。

#### アコースティック・エミッション (AE) (※8) :

微小破壊音とも呼ばれる。クラック（割れ目）が成長する際に放出される弾性波のことであり、一般的には 50 kHz~5 MHz の範囲の周波数をもつ。高温高圧環境下においてクラックを直接観察するのが困難なため、AE が検出されれば、発生源にクラックが存在することの強い証拠となる。自然地震との共通点も多いことから、実験室における“ミニ地震”と呼ばれることもある。ちなみに、人間の耳は 20 Hz~20,000 Hz (20 kHz)が可聴範囲なので、この AE は聞こえない。

#### 圧力による結晶構造の変化(※9) :

カンラン石は、特定の圧力に達すると結晶構造を変化させて別の鉱物となる。マントル遷移層上部(410~470 km)ではワズレアイト、マントル遷移層下部(470~660 km)ではリングウッドライトとなる。しかしこれらの結晶構造変化は熱エネルギーを要するため、1100℃以上の高温環境下でないと進行しない。

#### ポワリエライト(※10) :

ワズレアイトとリングウッドライトの中間的な結晶構造をもつ鉱物。フランスのポアリエ教授らの研究グループによってその存在が理論的に予測され、海洋開発研究機構の富岡博士によって隕石中から世界で初めて発見され、2021年に新鉱物として認定された。カンラン石からポワリエライトへの結晶構造変化は高圧力だけでは進行せず、14万気圧以上の高圧環境下での「カンラン石の変形」が必要となる。カンラン石からポワリエライトへの結晶構造変化は変形のエネルギーによって進行するため、理論上では室温のような低温環境でも進行するといった特異な性質をもつ。なお、ポワリエライトの結晶構造は比較的不安定なため、最終的にはワズレアイトあるいはリングウッドライトに変化しやすい。

#### 深発地震の発生メカニズムのモデル(※11) :

2022年9月に大内智博准教授らの研究グループは、カンラン石がナノ粒子化することによっても深発地震発生に至ることを報告した。カンラン石からワズ

レライトやリングウッドイトへと結晶構造が変化する際、カンラン石結晶のサイズが 100 nm (1 mm の 1 万分の 1) 程度かそれ以下となる場合がある。その場合、超塑性などの特殊な変形メカニズムが起きやすくなるためにナノ粒子からなる箇所は強度が低下し、断層形成に至ることがある。しかしこのモデルが適用できるのは、地震発生場の中でも比較的温度の高い場所に限られるため、温度の低い場所で起きる深発地震の原因は不明なままであった。

しかし本研究で明らかになった「カンラン石からポワリエライトへの結晶構造変化による断層形成」であれば、温度の低い場所で起きる深発地震の原因を説明可能である。2022 年 9 月と今回の成果より、深発地震の発生メカニズムの統一な理解が進展したと言える。

### 【論文情報】

掲載誌 : Science Advances

題名 : Faulting triggered by a quasi-diffusionless shear transition of olivine in deep subducted slabs (和訳 : カンラン石の準無拡散相転移によって起きる深部断層すべりを放射光その場観察実験によって再現)

著者 : Kohei Matsuda (松田光平), Tomohiro Ohuchi (大内智博), Sayako Inoué (井上紗綾子), Yuji Higo (肥後祐司), Noriyoshi Tsujino (辻野典秀), Sho Kakizawa (柿澤翔), Takeshi Sakai (境毅)

DOI : 10.1126/sciadv.adu5158

### 【研究サポート】

日本学術振興会科学研究費補助金 課題番号 : 23H00147, 25KJ1894

深田研究助成、せこ記念財団

## 【問い合わせ先】

(研究に関すること)

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター

准教授 大内 智博

Tel : 089-927-8159      E-mail : ohuchi.tomohiro.mc@ehime-u.ac.jp

高輝度光科学研究センター (JASRI) 回折・散乱推進室

主幹研究員 肥後 祐司

Tel : 050-3502-3587      E-mail : higo@spring8.or.jp

(愛媛大学に関すること)

愛媛大学総務部広報課

Tel : 089-927-9022      E-mail: koho@stu.ehime-u.ac.jp

愛媛大学先端研究院地球深部ダイナミクス研究センター (GRC)

Tel : 089-927-8165      E-mail: grc@stu.ehime-u.ac.jp

(SPring-8 に関すること / SACLA に関すること)

公益財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) 利用推進部 普及情報課

Tel: 050-3502-3763      E-mail: kouhou@spring8.or.jp、