

機関番号：1260181720

領域設定期間：平成28年度～令和2年度

領域番号：2804

研究領域名（和文）スロー地震学

研究領域名（英文）Science of slow earthquakes

領域代表者

小原 一成（OBARA Kazushige）

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：400462501

交付決定額（領域設定期間全体）：（直接経費）1,070,800,000円

研究成果の概要

本研究領域は、スロー地震が2000年前後に発見されから約15年が経過し、多様なスロー地震の存在が分かり、巨大地震との関連性が指摘されてきた段階において、スロー地震に関する理解を一層深める目的で、スロー地震研究の先駆者・世界的第一人者たちを中心に開始された。特に、地質学や非平衡物理学などとの異分野連携に基づいてスロー地震に関する新たな理解を得ること、及び、我が国のスロー地震研究における国際的卓越性をさらに強化し、世界的にこの研究分野をけん引する立場を明確にしつつ、併せて国際的な視野を備えた若手研究者を育成することも含めて、領域研究を進めた。

その結果、これまで観測が困難でギャップとされていた海域や脈動ノイズと重なる周波数帯域において新たなスロー地震の発見に成功し、スロー地震は、プレート境界固着域の浅部や深部を問わず、微動帯域からスロースリップ帯域まで広がる「超広帯域現象」であり、その発生には「不均質」及び「水」が重要な役割を果たす、という基本的理解に達した。これは、本領域における海陸における観測網の展開や解析手法の高度化によるものであるとともに、付加体・変成岩露頭の地質学的観察による「レオロジー不均質性」及び「水がもたらす変形」に基づいて、非平衡物理学的モデルによるスローな現象の再現や、スロー地震発生様式の系統的遷移性を説明しうる地球物理学的モデル化に成功したこと、さらに、海陸における地震学および電磁気学的構造探査や地質学的調査・実験により、スロー地震発生域における「水」の存在を明らかにしたことなど、本領域のすべての計画研究による成果を総合して得られたものである。

また、スロー地震と巨大地震との関連性については新たにいくつかの重要な知見が得られた。国は2019年よりこれまでの東海地震予知体制から南海トラフ巨大地震の発生可能性に関する臨時情報を発出する体制へと転換し、その情報発出における評価項目にスロー地震を加えており、これは、本領域の研究成果が国の防災行政に貢献したものである。

国際交流事業としては、毎年開催した年次国際研究集会に多数の海外研究者を招聘し、また領域採択期間中2回実施した海外押しかけワークショップにて多くの領域関係者を派遣するなど、国際交流ならびに国際共同研究の基礎を確立した。さらに、若手研究者の海外派遣を積極的に実施し、10名に対し総計で318人日に及ぶ在外研究支援を行った。また、領域内外で構築された様々なスロー地震のカタログを共通フォーマットで利用可能なスロー地震データベースを英語で作成した。これにより、様々なスロー地震の比較が容易となり、国際的にも利用されるようになるなど、スロー地震研究の国際的な発展に大きく貢献した。

研究分野：固体地球惑星物理学

キーワード：スロー地震、沈み込み帯、水、不均質性、地震学、測地学、地球物理学、地質学、非平衡・非線形物理学、計算地球科学

1. 研究開始当初の背景

20世紀末から日本の最先端の地殻変動・地震観測網によって、次々と奇妙な現象が見つかった。1999年にプレート境界のゆっくりとしたすべりである「スロースリップイベント（SSE）」が、2002年に非常に微弱な地震波源である「微動」が発見された。これらの現象はその後も頻繁に発生し、その発生源は過去の巨大地震の震源域を取り囲んでいる。その後、SSEや微動は、世界各地（カナダ、米国、メキシコ、コスタリカ、エクアドル、ペルー、チリ、ニュージーラン

ド、台湾など)で相次いで発見された。SSE と微動の中間的サイズの現象「超低周波地震」と合わせて、これらすべての現象を「スロー地震」と呼ぶ。スロー地震は普通の地震同様プレート境界のすべり運動であるが、そのスケール法則は普通の地震とかなり異なる。一方、2011 年東日本大震災を引き起こした東北沖地震は、あれほどの巨大地震を想定できていなかった地震学の未熟さを露呈させ、地震研究者たちは、地震発生の物理プロセスを十分に理解できていなかったことを痛感させられた。その理解できていない大きな要因がスロー地震なのであろう。巨大地震発生域の周辺でスロー地震が頻発し、地震発生場を絶えず変え続けている。ある意味で普通の地震、つまり高速のすべりを準備しているのは様々なタイプのスロー地震であると考えられる。

本研究領域が開始される当時、スロー地震研究は「発見の時代」を過ぎ、「理解の時代」を迎えつつあり、従来のアプローチのみでは限界に近い状況であった。他方、近年の海洋底掘削や陸上付加体研究によって地質学的にスロー地震を理解することが現実的になり、また非平衡物理学・非線形動力学の一分野として普通の地震とスロー地震の関係が注目され始めていた。これらの分野間の交流はこれまで十分だったとは言えず、その理由は主に交流の枠組みがなかったためである。そこで、本研究領域は、スロー地震というターゲットに地質学から非平衡物理学までの異分野を結びつける枠組みを提供し、スロー地震に関するより徹底した理解をもとに、低速変形を解明することにより、最終的には、高速すべりまで含めた地震現象を統一的に理解し地震研究そのものの再構築を目指すまでを、本研究領域の全体構想とした。

2. 研究の目的

近年相次いで発見されてきた地震現象である「スロー地震」の謎を解明する。そのために、従来の地球物理学(地震学、測地学)だけでなく、地質学、非平衡物理学等を融合したアプローチを用い、スロー地震の発生様式、発生環境、発生原理を明らかにすることで、「低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的な理解」を飛躍的に進め、かつ同時に地震研究の再構築を目指すことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究項目 A01: 地震観測

スロー地震(微動・超低周波地震・SSE)の活動様式や相互作用を解明するため、海域に海底地震計や海底圧力計、陸域に短周期・広帯域地震計を展開して機動的観測を実施する。特に浅部微動に伴う SSE の直接的検出、微動と超低周波地震の時空間相関性、地球潮汐や遠地震によるスロー地震の誘発現象、スロー地震域周囲の準定常すべり変化との相互作用等を解明する。検出したスロー地震のカタログ構築とスロー地震データベースを介した公開を進める。測地観測(A02)や他班と連携してデータの相互利用やスロー地震の全体像の把握に努める。

(2) 研究項目 A02: 測地観測

GNSS、重力、傾斜、歪み観測により SSE の詳細な時空間発展を明らかにし、それをもとにスロー地震発生域のすべり挙動や摩擦特性を解明する。豊後水道で予想される長期的 SSE、日向灘、沖縄本島南部、八重山地方の SSE をターゲットとする。まず各種既存データを用いて検出精度向上のためのデータ解析法を検討する。GNSS 観測網の補強および可搬型超伝導重力計による重力連続観測を行うとともに、蓄積された測地データを統合して SSE のすべりモデルを構築する。各地域の長期・短期 SSE のすべり分布、隣接地域との相互作用、流体移動、微動・VLF・地震活動などとの関連性、潮汐との関連性、プレート間カップリング分布、せん断応力のすべり速度依存性を明らかにし、他計画研究の知見を総合しスロー地震・地震の地域性・発生要因を考察する。

(3) 研究項目 B01: 地震・電磁気構造

豊後水道周辺において、プレートの沈み込みに伴う地震学的・電磁気学的構造を明らかにすることを目的として、海域から陸域にわたって人工震源地震波構造調査および地震・電磁気観測を行う。ネットワーク MT 法や海底電位差計を用いた電磁気観測によって得られる比抵抗構造、および陸域での大規模火薬発破、海域でのエアガン発震による地震波人工震源構造調査から得られる地震波速度・減衰・異方性構造から、プレートの沈み込み運動に伴う流体の分布を明らかにする。またプレート境界面における地震波変換効率および反射強度のマッピングを行い、プレート境界面の形状および境界面周辺の物性を高解像度で求め、スロー地震発生様式と比較することによって、その発生メカニズムに関する構造的要因の解明を行う。

(4) 研究項目 B02: 地質

スロー地震発生深度で形成された付加体・変成岩類の地質調査・分析を基にスロー地震の地質学的描像を導き出すとともに、地震・測地観測から得られる地震像との共有を図ることで、スロー地震の発生像を構築する。地質・模擬試料を用いた摩擦・透水実験を行い、低速変形から高速すべり時の摩擦・水理特性を明らかにすることで、スロー地震から巨大地震発生へ至る際の摩擦・流体挙動を明らかにする。実験後、回収された試料と付加体・変成岩から得られた試料の比較・検討を行い、低速変形から高速すべりを支配する素過程を明らかにする。フィールド・実験で得られたデータを他計画研究に提供し、低速変形から高速すべりまでの地震現象の統一的理

解に役立つ。

(5) 研究項目 C01：地球科学的モデル構築

スロー地震を構成する微動・超低周波地震・スロースリップ等の現象について、数理科学的モデル化を通じて相互の関連性を明らかにする。他計画研究の情報に基づき、地下構造、物質特性、温度圧力条件等の妥当な仮定の下で、低速変形から高速すべりまで含む地震サイクルを数値シミュレーションによって再現する。その過程において、プレート境界面での摩擦を含むレオロジー、巨大地震前のプレスリップの出現可能性、潮汐等の外部応力の影響などを推定する。世界の様々な地域で見られるスロー地震と巨大地震の多様性を、上記のモデル、シミュレーションに地球科学的考察を加えることで説明する。

(6) 研究項目 C02：非平衡物理学

スロー地震と通常地震の違いを、力学的安定性・不安定性の違いとして定量的・統一的に理解する。具体的には、摩擦・流動実験と、数理モデルによる再現により、レオロジーに関する不均一（あるいはランダム）場における時空ダイナミクスの実験と安定性解析を行い、両者の切り替わりを定量的に記述し、ダイナミクスの普遍的挙動を解明する。同時に、なぜそのようなレオロジー不均一性が発現するのか理解するため、レオロジーの統計力学的理解も目指す。またスロー地震と通常の地震の相互作用を非線形動力学の観点から理解する。とくにスロースリップと巨大地震の関係について数理的に明らかにする。安定性・時定数の異なる複数のすべり機構が弾性ひずみを解消していく機構をモデル化し、協同現象の観点から解析する。

4. 研究の成果

本研究領域によって、スロー地震の理解を目指した新たな分野融合連携研究体が構築され、様々な研究成果が得られた。それらの成果は、Science 誌 7 本、Nature 誌 2 本、Nature Geoscience 誌 8 本、Nature Communications 誌 7 本などの高インパクトジャーナルを含む、合計 468 編の原著論文を国際査読誌にて公表した（うち国際共著論文は 159 編）。また、国際学会における招待講演数は 75 回に及ぶなど、世界的に高い評価を得たことを示している。

(1) 研究項目 A01：地震観測

スロー地震に対するこれまでの断片的な理解から、スロー地震の全体像を理解することを目的とし、浅部スロー地震、深部スロー地震、小繰り返し地震を対象として、防災科研 MOWLAS などの定常観測データに海陸に展開された機動観測のデータを加え、スロー地震を構成する各現象の発生様式や相互作用の解明を進めた。その結果、スロー地震の系統的な描像が明らかとなったとともに、そのうえでスロー地震の様々な多様性や不均質性が明確となり、発生環境との比較やモデル化に関する研究が大きく進展した。

本領域の C01 や A02 の成果として得られたスロー地震の広帯域性、浅部・深部スロー地震の共通性、といった系統的描像に基づき、本研究項目ではスロー地震の詳細像としての多様性を明らかにした。つまり、深部スロー地震は走向方向に同じ現象が細長く広がり、発生時期の異なるセグメントに分かれ、それらはパッチ強度が異なるなどの弱い不均質性で特徴づけられる。一方、日本海溝や南海トラフ付近で新たに発見した浅部スロー地震は、走向方向に固着域などと棲み分けるといって、強い不均質で特徴づけられることを見出した。また、スロー地震の移動様式には、南海トラフ西方沖で検出したように小繰り返し地震と相互作用しながら数 100 km も移動し固着域に応力載荷する場合や、拡散的に高速度・短距離移動するケースなど、多様であることが分かった。また、スロー地震の潮汐応答性の季節・地域変化、隣接スロー地震間もしくは通常地震との時空間的相関性、遠地表面波による微動に限らない超低周波地震の誘発現象などの相互作用についても新たな知見を得て、スロー地震の発生メカニズムの理解が進んだ。

(2) 研究項目 A02：測地観測

スロー地震の大局的な活動パターンやプレート間のすべり様式を規定していると考えられる SSE の活動様式を測地学的な観測手段によって捉え、地域ごとのプレート間のすべり特性、それを規定している地球科学的要因、隣接地域との相互作用、SSE 発生と地殻流体との関連性の解明を進めた。その結果、それらについての理解が大きく進展した。

四国において過去 18 年間にわたり、微動に伴う短期的 SSE を推定し、2012 年以降の大規模な SSE の増加傾向を明らかにした。一方、日向灘から四国にかけて 1 年程度継続する長期的 SSE を系統的に検出し、約 300 km の距離を北東に向かって移動する様子を見出した。この長期的 SSE は浅部側の固着域における固着度に影響されるとともに、深部側の短期的 SSE 活動に影響するという相互作用が存在することを見出した。また、深部微動が活発化するタイミングで異なる期間の GNSS データをスタックした結果、浅部側に離れた固着域の一部でわずかな滑りが生じていることが分かった。これらの結果は、深部スロー地震が巨大地震の発生に影響する可能性を示唆する重要な事例である。さらに、東海地域における 20 年以上の絶対重力測定により SSE に関連する重力変化を見出し、C02 班と共同開発した間隙弾性体モデルに基づく流体移動で説明可能であることを示した。八重山諸島で 5 回の SSE を検出し、いずれもすべり分布は似ているものの時間発展が毎回異なるため、断層面の性質が時間変化することを突き止めた。

(3) 研究項目 B01 : 地震・電磁気構造

本研究は、豊後水道周辺を主たる対象領域として、海域から陸域まで、地震学的・電磁気学的なプレートの沈み込み構造を明らかにし、多様な断層すべりの発生環境の理解に貢献することを目的としている。計画通り実施した調査・観測の結果、地震学および電磁気学的に互いに整合的な構造が得られ、構造から示唆される流体の分布とスロー地震発生領域との間に良い相関を確認した。さらに公募研究も加え、西南日本全体のスロー地震活動と沈み込み構造との関係や、ニュージーランド北島沖ヒ克蘭ギ沈み込み帯における 3 次元的なプレート沈み込み構造を明らかにした。さらに、地震学的・電磁気学的構造の時間変化抽出に向けた手法開発も進め、当初の計画以上に進んだ結果を得ることができた。

日向灘や四国東部における高分解能地下構造調査とスロー地震活動との比較から、沈み込んだ海嶺や海山が浅部及び深部微動の活動域を規定することを見出した。また、ニュージーランド沖でもスロー地震発生域における詳細な三次元構造を明らかにした。一方、スロー地震と流体との関係については、四国西部の微動域に対応した豊富な流体を示唆する明瞭な反射帯を見出し、関東直下ではプレート境界のスロースリップの発生に伴う流体放出を明らかにした。また、紀伊半島直下におけるプレート内地震とスロー地震活動、及び紀伊半島沖のスロー地震とプレート境界構造の時空間変化より、流体が関与する可能性を見出した。さらに、電磁気学的調査の結果、豊後水道のスロー地震発生域では間隙流体を示唆する低比抵抗体が存在する可能性を見出したとともに、時空間変化する場合でも検出可能である可能性が示された。

(4) 研究項目 B02 : 地質

スロー地震の地質学的描像を導き出すとともに、低速変形時の摩擦・水理特性を明らかにすることを目的に、(A) スロー地震発生深度で形成された付加体・変成岩の地質調査・試料分析、(B) 地質・模擬試料を用いた摩擦・透水実験を実施した。その結果、浅部スロー地震と微動を説明しうる破壊と変形、浅部スロー地震と深部スロー地震発生を説明しうる摩擦特性や変形挙動が明らかになり、スロー地震の実像と発生メカニズムに関する理解が大きく進展した。

浅部スロー地震の地質学的描像としては、メランジュに伴う破碎と延性変形が静岩圧に近い間隙水圧下で起こることを示した。深部スロー地震については、メランジュ内に濃集するクラックシール石英脈が、静岩圧に近い間隙水圧のもとで数年以内の間隔で低角逆断層すべりが発生したことを記録していることを見出し、これが A01 班で観測された ETS 中の微動に対応する可能性を示した。さらに A02 班との融合研究により、クラックシール石英脈が過去のスロー地震発生履歴を記録している可能性を明らかにした。また、このクラックシール石英脈を齎す流体は蛇紋岩化したマントル起源であり、この深部からの流体流入が微動を引き起こす可能性を示した。

スロー地震の発生メカニズムについては、浅部スロー地震の摩擦挙動が玄武岩ブロックにおける速度弱体化と泥質マトリクスにおける速度強化のコンビネーションであることを示した。深部スロー地震については、前弧マントルウェッジ条件下でアンチゴライトが準脆性変形を示し、また石英の粒間に存在する水が断層強度を低下させ、延性変形と水を含むクラック形成を齎すことを明らかにした。つまり、含水量の違いが断層運動の多様性やカップリングに大きく影響する可能性があることを示した。

(5) 研究項目 C01 : 地球科学的モデル構築

本計画研究は地球科学的モデル化を通じたスロー地震の発生原理解明を目指し、(A) スロー地震諸現象の時間空間的な関連性の解明、(B) 現実的プレート運動システムにおけるモデル化、(C) 巨大地震を含むプレート運動システムの予測可能性の検討、について研究を行った。毎年 C01 独自の研究集会を行い、議論を活発に行った。また領域のスロー地震カタログ作成にも貢献した。

(A) ではスロー地震の広帯域性を明らかにし、現象間の関連性理解に貢献した。(B) では熱や水、複数断層などを取り入れた様々なモデルを開発した。(C) では特に実験研究が進展し、震源核の成長を把握するという成果を得た。また機械学習による予測可能性という、新たな研究の方向性についての手がかりも得た。これらの研究は 117 編の論文として学術誌に公表されている。

紀伊半島沖の浅部スロー地震及び西南日本の深部スロー地震が、超低周波地震や微動を含む 100 秒から数 Hz まで連続的なシグナルを放射していることを明らかにし、この性質は超広帯域ブラウン運動スロー地震モデルで説明可能であること、つまり、スロー地震は超広帯域現象であることを世界で初めて明らかにした。

現実的摩擦則を用いたモデル計算によってスロー地震の理解を進め、単純な線断層モデルだけでスロー地震の多様な振る舞いを説明すること、一枚面ではない断層では摩擦パラメータが一様でも複雑なスロースリップを生じ得ることを明らかにした。

環太平洋の沈み込み帯の数か所において温度構造モデリングを実施し、海洋プレートの年齢や脱水勾配の値によってスロー地震の発生位置が変化することを明らかにした。また、地表付近の水の荷重変化が地震活動や微動のサイズ頻度分布をコントロールする可能性を指摘した。

メートル規模の岩石試料を用いた摩擦実験を実施し、プレスリップの 2 次元的な成長を観察することに成功し、載荷速度が増すと震源核形成が起きないこと、断層面の不均質性が増すとプレスリップが始まる位置の予測が困難になること、極めて不均質な場合には前震の cascade-up から本震が発生することなど多くの知見を得た。

(6) 研究項目 C02 : 非平衡物理学

スロー地震は、沈み込み帯という複雑で不均質な非平衡環境下で発生する。そこで本計画研究では、項目 B01 や B02 で解明した地質学的不均質構造に基づいて、「不均質な場が生み出す滑り現象の多様性」という物理的な観点からスロー地震の理解を目指した。その際、地質学的不均質性が生み出す現象をより普遍的な形で理解するため、「観測された不均質構造」のみならず「存在可能性のある不均質構造」にまで検討対象を広げ、不均質性に起因する多様な滑り様式をより一般的に理解することを目的とした。

研究期間中は、不均質構造を系統的に制御できるアナログ実験と数理モデルを用いて、様々な不均質構造における滑りの時空発展様式を整理することで、遅い滑りが加速し速い滑りへと遷移する現象の再現や、遅い滑りと速い滑りを分ける定量的条件を解明できた。例えば、地質学的観察結果に基づいて、延性的な粘弾性中に脆性的な粉粒体を混入したアナログ試料変形実験を実施した。実験では露頭で見られる流動・破壊パターンの再現に成功し、スロー地震に関する地質学的シナリオを力学的観点から裏付けた。地質学的凸凹構造をモデル化したシミュレーションでは、移動や巨大地震に対する先行などのスロー地震の特徴の再現に成功した。摩擦強度の不均質性を制御した高分子ゲル摩擦実験により、通常地震とスロー地震との動的性質の差異を生じるメカニズムを解明した。

数理モデル化を通じてより一般的な理解も深まった。例えば、一様な系で自発的に出現する遅い滑りのモデル化と観測との比較により、スロー地震には地質学的不均質性が不可欠であることを示すこともできた。また、断層の滑りが生態系の個体数変動と共通の枠組で理解できることも示した。複雑ネットワーク分野の概念を用いた新しい時系列解析手法により、通常地震もスロー地震もマグニチュード時系列に相関があることが分かった。

これらの理解を応用して、木材接合部や靴底など不均質材料の設計にもスロー地震研究の知見が生かせることが分かった。以上の点を鑑みれば、当初計画以上の結果を得たと言える。

(7) 研究項目 X00, Y00 : 総括班および国際活動支援班

国際活動支援班で、毎年多数の海外研究者を招聘して年次国際研究集会を開催し、また領域採択期間中 2 回、ニュージーランドとチリで海外押しかけワークショップを開催し多くの領域関係者を派遣するなど、国際交流ならびに国際共同研究の基礎を確立した。また、若手研究者の海外派遣を積極的に実施し、10 名に対し総計で 318 人日に及ぶ在外研究支援を行った。

総括班は、領域のすべての研究活動を円滑に進行するよう常に支えてきたとともに、特筆すべきこととして、領域内外で構築された様々なスロー地震のカタログを共通フォーマットで利用可能なスロー地震データベースを英語で作成した。これにより、様々なスロー地震の比較が容易となり、国際的にも利用されるようになり、スロー地震研究の国際的な発展に大きく貢献した。

5. 主な発表論文等 (受賞等を含む)

論文はすべて査読有 (国際査読誌掲載論文 : 計 468 編、うち国際共著論文 159 編)

Development of a Slow Earthquake Database, *M. Kano, N. Aso, T. Matsuzawa, S. Ide, S. Annoura, R. Arai, S. Baba, M. Bostock, K. Chao, K. Heki, S. Itaba, Y. Ito, N. Kamaya, T. Maeda, J. Maury, M. Nakamura, T. Nishimura, K. Obana, K. Ohta, N. Poiata, B. Rousset, H. Sugioka, R. Takagi, T. Takahashi, A. Takeo, Y. Tu, N. Uchida, Y. Yamashita, and K. Obara, Seismological Research Letters, 2018, 89, 1566–1575, doi:10.1785/0220180021.

Strength of tremor patches along deep transition zone of a megathrust, *M. Kano, A. Kato, R. Ando, and K. Obara, Scientific Reports, 2018, 8, 3655, doi:10.1038/s41598-018-22048-8.

Stagnant forearc mantle wedge inferred from mapping of shear-wave anisotropy using S-net seafloor seismometers, *N. Uchida, J. Nakajima, K. Wang, R. Takagi, K. Yoshida, T. Nakayama, R. Hino, T. Okada, and Y. Asano, Nature Communications, 2020, 11, 5676, doi:10.1038/s41467-020-19541-y.

Frequent observations of identical onsets of large and small earthquakes, *S. Ide, Nature, 2019, 573, 112–116, doi:10.1038/s41586-019-1508-5.

The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories, * T. Nishikawa, T. Matsuzawa, K. Ohta, N. Uchida, T. Nishimura, and S. Ide, Science, 2019, 365, 808–813, doi:10.1126/science.aax5618.

受賞等 (国際 3 件、国内 18 件、国際学会学生優秀発表 2 件、国内学会学生優秀発表 30 件)

- ・井出哲, American Geophysical Union Fellow, 2016
- ・望月公廣, New Zealand Geophysics Prize, 2016, 2019
- ・ウォリスサイモン, 日本地質学会賞, 2017
- ・小原一成, 2017 年度日本地震学会賞, 「スロー地震学の創成」, 2018
- ・太田雄策, 新技術開発財団 第 49 回 市村学術賞 貢献賞, 2016
- ・井出哲, 読売テクノ・フォーラム第 23 回ゴールドメダル賞, 2017
- ・中島淳一, 手島精一記念研究賞著述賞, 2019

ホームページ等

<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/sloweq/>