

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18403005
 研究課題名（和文） 大陸縁辺の広域深部電気伝導度構造の解明
 研究課題名（英文） Elucidation of wide and deep electrical conductivity structure beneath the marginal region of the Eurasian Continent
 研究代表者
 上嶋 誠 (UYESHIMA MAKOTO)
 東京大学・地震研究所・准教授
 研究者番号：70242154

研究成果の概要：

中国地震局地質研究所の湯教授、趙教授の研究グループと共同して、中国において整備された磁場観測所で取得されてきたデータのうち、32点の磁場3成分データのコンパイルを行った。またその観測空白域を埋めるため、中露国境近くの密山（ミーシャン）、中蒙国境近くの錫林浩特（シリノト）に3成分磁力計を設置し、磁場観測を行った。これらのデータから、ロバスト解析手法を用いて、鉛直磁場－水平磁場間の長周期磁場変換関数を推定した。中国磁場観測点のデータについては約100日までの長周期磁場変換関数が推定でき、新たに設置した2観測点については約10日までの変換関数が推定できた。これらの変換関数と、マントル遷移層に至る北西太平洋域での標準的1次元電気伝導度構造と海陸の比抵抗コントラストを考慮した3次元電気伝導度分布から予想される変換関数との比較を行った。その結果、中国東部は平均して北西太平洋より比抵抗が高く、その中部から北部にかけて大規模な低比抵抗域が存在する可能性が示唆された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2007年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	6,800,000	2,040,000	8,840,000

研究分野：地球電磁気学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：

地球電磁気、地球・惑星内部構造、地球観測、地殻マントル物質、

大陸縁辺部、スタグナントスラブ、ネットワーク MT, GDS

1. 研究開始当初の背景

日本列島などの沈み込み帯は、マントル対流の大規模下降流が存在する地域と言いか

えることができる。下降流の先では、地下およそ 400-660km の深さのマントル遷移層付近で流れはほぼ停滞し、大量のスラブ物質が

貯えられていると考えられる。地震学的には、トモグラフィによって、日本海溝から沈み込んだ高速度異常(=スラブ)がマントル遷移層付近に淀んで、いわゆるスタグナント・スラブとして描かれるようになった(Fukao and Obayashi, 2003)。今注目している日本列島周辺の下流地域では、遷移層内の高速度異常領域は、朝鮮半島から中国東北部およびロシア沿海州にかけて分布する。

一方で、このスタグナント・スラブの分布域を含むアジア大陸東縁部の中国東北部からロシア沿海州およびシベリア東部にかけての広い地域には長白山(白頭山)を代表とする新生代の大陸性火山活動がある(Miyashiro, 1986)。また、中国東北区大平原ではその中軸部に日本の東北背弧に匹敵する高熱流量帯が存在する(江原, 2003)。この火山活動や高熱流量帯は地球科学的に極めて興味深い現象であり、過去の研究においていくつかの成因モデルが提案されてはいるものの、十分に解明されたとは言い難い。マントル遷移層で地震波速度の異常に速い領域の地域的な広がり、火山が分布する地域とはほぼ重なっていて、このことは偶然とは考えられない。冷たいスラブはマントルの温度構造に擾乱を与えるが、同時に周囲のマントルとは組成が異なり、水を大量に含んでいる可能性もある。水が含まれると電気伝導度の上昇が見込まれるため、当該地域で電気伝導度構造を明らかにすることは、上記火成活動の成因を解く鍵になりえる。

このため、本海外学術調査に先行する、平成12-14年度に「アジア大陸の東縁部の上部マントル電気伝導度構造の解明」、平成15-17年度に「スタグナント・スラブの電気伝導度」という海外学術調査(基盤研究B)を実施した。これらの研究では、中国東北部吉林省、遼寧省の各地においてネットワークMT観測を行った。ネットワークMT法は通常のMT観測と比較して、電話回線を用いて長基線で電場を測定するところに特長があり、表層付近の不均質の影響が軽減された、数万秒に至る良質な電場-磁場間長周期応答関数を推定することが可能である。このため、大スケールの深部電気伝導度構造を明らかにするために、最適な観測法であるといえる。これら一連の観測研究から得られたデータを解析した結果、この地域の上部マントルは全般的に他の大陸地域のマントルと電気伝導度的にはほとんど区別することができず、むしろ非常に大きな違いとして遷移層や上部マントル下部の電気伝導度が他の地域の結果に比べ有意に高いことが示唆された。

2. 研究の目的

先行研究においては、大きく以下の2つの事項が問題点として挙げられた。

(1) 吉林省長春観測点においてのみ、磁場データを取得していた。従って、ネットワークMT法観測によって吉林省から遼寧省に至る広範な地域について、電場の空間分布を把握することは出来たが、磁場の空間分布を把握することは出来なかった。このため、電場-磁場応答関数を求める際には、すべての観測域について、長春の磁場を参照した。また、数日以上を超長周期応答関数は、磁場変換関数を求めることによるGDS法によるのみ求めることが可能となるが、これもすべての点について長春の磁場変換関数を用いた解析を行っていた。

(2) 極東ロシアの沿海州・シベリア東部では、観測実施に対する様々な制約から、十分なデータを得ることが出来なかった。また、中国のネットワークMT法観測においても、様々な制約から、吉林省長春から遼寧省錦州に至る北北東-南南西方向の測線上でのみ観測の実施が可能であったため、東西方向の構造の変化を検出することが出来なかった。以上の問題から、先行学術調査では、スタグナント・スラブに関連するとされた高電気伝導度域が空間的にどのように分布し、地震波トモグラフィで得られた描像とどのような関係にあるかを議論することは困難であった。

このため本研究では、(1)については、中国政府によって基盤的観測として整備された磁場観測所の3成分磁場データのコンパイルを行い、超長周期磁場変換関数の空間分布を把握することを第一の目的とした。また、既設観測所の空間配置から、既存データだけでは変換関数の東西方向の空間依存性を把握することが出来ないことが判明したので、既設観測所の観測空白域を埋めるべく、中露、中蒙国境付近にて磁場観測を実施し、磁場変換関数を推定することを第2の目的とした。一方、(2)については、ロシア国内での観測について、本研究期間内に有効な実現策が見つからず断念した。また、ネットワークMT法観測実施に必要な、長基線のメタリック電話回線が、中国においても完全に光ファイバーに置き換わっていたため、中国におけるネットワークMT観測も断念せざるをえなかった。

3. 研究の方法

(1) 中国3成分磁場データコンパイル

中国地震局地質研究所の湯・趙両教授のグループと共同して、1983年から2006年に至る期間の、中国地磁気観測所における磁場3成分毎時データのコンパイルを行った。中国全土にわたる32観測点のデータを集め、各観測点について最短で5年間、最長で22年間の数値データを集めた。数値データは、水平成分の絶対値、鉛直成分、偏角(地理的北

からの水平成分の方向のずれ) からなり, その数値データとしての分解能は, 水平, 鉛直成分について 1nT, 偏角について 0.1 分角であった.

(2) 中露・中蒙国境域における磁場観測

(1) においてコンパイルを行った中国地磁気観測所の観測点分布を考慮し, 中国東北部において地磁気変換関数の東西方向の変化を明らかにするため, 中露国境近傍の密山(ミーシャン: 略号 MSH), 中蒙国境近傍の錫林浩特(シリント: 略号 XHT) に 3 成分磁力計を設置し, 2007 年 11 月から 2009 年 1 月にかけてデータを取得した.

観測には, Tierra Technica 社製の UY44 3 成分フラックスゲート磁力計を用いた. 中国で観測を行う前に, 東京大学地震研究所八ヶ岳地球電磁気観測所において, 2007 年 9 月 3 日~9 月 13 日の期間にセンサーの温度検定(地上観測), 2007 年 9 月 13 日~9 月 30 日にかけてセンサーの感度検定(壕内観測)のための連続観測を行った. この結果, 南北, 東西, 鉛直成分それぞれについて, 1 号機(後に XHT に設置)については 1.1, 0.74, 1.4 nT/°C, 2 号機(後に MSH に設置)については 1.8, -1.9, 1.2 nT/°C の温度変化によるドリフト特性を持つことがわかった. また, 各測器各成分の時系列と, 八ヶ岳観測所に設置している周波数特性が既知のフラックスゲート磁力計によって計測された磁場 3 成分データとの間で周波数応答を求めることで, 各測定器の周波数特性を推定した.

磁力計の設置は, MSH については 2007 年 11 月 16~17 日, XHT については 2007 年 11 月 22~24 日にかけて実施した. いずれの観測点においても, 中国地震局地震観測点の壕内に設置した. 各壕内において, 磁場センサー設置可能場所周辺でプロトン磁力計を用いた全磁力マッピングを行い, 磁気傾度が小さい地点を選定して, そこに 3 成分磁場センサーを設置した. これは, 鉄骨等が壕内に入っていると, それによる磁気異常が大き



図 1. 中国地震局密山地震観測所. 裏の小山の下に壕が掘られていてそこに磁力計を設置した.



図 2. フラックスゲートセンサー



図 3. 磁場計測部本体の設置.

く, 鉄の酸化等による磁化の変化によって自然起源以外の長周期磁場変動ノイズが混入する可能性があり, それを避けるためであった. 図 1~図 3 に密山における磁力計設置の様子を示す. 磁場は各成分とも毎秒サンプルで取得し, 同時に磁場センサーの傾動をモニターするため, 2 成分傾斜データを取得した. また, 前述の温度ドリフトを補正するため, 毎分でセンサーおよび回路部の温度をモニターした.

こうして, 磁場 3 成分観測を継続したが, 2008 年 11 月に測器のメンテナンスのために, 再び両観測点を訪れた際, MSH については供給電源の問題のために 3 カ月分のデータしか記録されていなかった. 一方, XHT では順調に 1 年間のデータが蓄積されていた. 地下壕最奥部に磁場センサーを設置したため, XHT 観測点について, 観測員が壕内に入るために扉をあけることによる温度擾乱(最大 0.6°C)以外は, 年間を通してセンサー周囲の温度変化は 0.25°C 以内に保たれていた. センサー設置状況は MSH でも同様であるので, 確認は出来ていないが, 温度擾乱は同程度であると予測できる. このことによって, 磁場変換関数を求める上で温度ドリフトを考慮する必要のない, 良質な磁場データが得られていることが確認できた.

(3) 周波数応答関数推定

周期数日以上の地磁気変動は、赤道と高緯度オーロラ帯に存在する環電流の擾乱をソースとするため、そのソース電流系は磁気緯度に依存し磁気緯度方向に流れるゾーナルな構造を持つ。このため、観測点の緯度、経度から国際標準磁場モデル (IGRF) を参照して各地点での地磁気双極子極の偏角を求め、地磁気双極子極の方向を北とする座標系に座標回転した時系列を作成した。

回転した時系列を用いて、その鉛直成分と (磁氣的) 南北成分との間の周波数応答関数を推定した。応答関数の推定には、汎用ロバースト応答関数推定アルゴリズム (rrmt: Chave and Thomson, 1989) を用いた。ローカルな磁場変動がもたらすバイアスを除去するため、remote reference 法 (Gamble et al., 1979) を用い、茨城県柿岡地磁気観測所 (略号: KAK) のデータを遠隔磁場参照点として用いた。その結果、10年以上のデータ長があるところでは数日から数100日、5年以上のところでは数10日から100日程度、XHT については1年間のデータの解析により10日までの良好な応答関数を推定することが出来た。

前述したように、ソース電流系が磁気緯度線に沿うゾーナルな構造を持っていて、地球内電気伝導度構造の1次元からのずれの影響が十分に小さい場合、磁場は地球を経線で切った面内で変動する。このため、(座標回転した系での) 鉛直成分と南北成分との比の絶対値の座標回転角依存性を見ると、磁氣的経線方向に座標回転した時に最もその値が小さくなるはずである。ユーラシア大陸東縁縁辺域においては、非双極子成分が卓越するため、磁気偏角は概ね地理的北より西側にふれている。例えば KAK においては約7度西偏している。一方磁気双極子極は、KAK から見て東に約6度ふった位置にありその差は約13度となる。KAK データについて鉛直成分/南北成分の応答関数の座標回転角依存性を調べたところ、数日から100日における周期帯では地理的北の方向から約7度東偏の時に応答関数が最小となることが確認された。中国の各観測点についてもほぼすべての点において磁気双極子極の方向に回転した時に、応答関数の絶対値が最小となる傾向が確認され、この周期帯において、ゾーナルなソース電流系が卓越していることが確認できた。

4. 研究成果

(1) 1次元 inversion 解析

中国の観測点は磁気緯度北緯12.7度から43.3度の範囲の中緯度に分布しているため、高緯度オーロラ帯のソースの影響は小さく、ソース電流系として単純な P10 であるとする近似が可能である (Fujii and Schultz,

2002)。また地球構造が1次元成層構造であると仮定した場合には、鉛直-南北磁場間変換関数Gと東西電場-南北磁場間応答関数Z (MT (Magetotelluric:地磁気地電流) インピーダンス) との間には、

$$G(\omega; \theta) = \frac{B_z(\omega; \theta)}{B_x(\omega; \theta)}$$

$$Z(\omega; \theta) = \frac{E_y(\omega; \theta)}{B_x(\omega; \theta)} \quad \dots (A)$$

$$= -\frac{i\omega\mu_0 a \tan \theta}{2} G(\omega; \theta)$$

なる関係が成り立つ。ここで、 ω , θ , μ_0 , a は、それぞれ、各周波数、磁気余緯度、真空の透磁率、地球半径である。MTインピーダンスが推定されれば、見かけ比抵抗 (一様構造を仮定して電場-磁場応答関数を比抵抗の単位に換算したもの) と位相差を算出することが出来る。本研究で解析したすべての観測点について、周期1日から100日の帯域で、見かけ比抵抗がほぼ単調に減少し、位相差が45度以上の高い値を示していた。これらの地点依存性を調べてみたところ、中国東北部において周期10⁶s (約10日) で30-100 Ωm の見かけ比抵抗値であったものが、南に向かうにつれ値が高くなり、中国南東部では70-300 Ωm となり数値的にはわずかな差であるが、中国東北部から南東部にかけて有意に高い見かけ比抵抗に推移していくことが確かめられた。

このMTインピーダンスの変化を解釈するため、最初のステップとして、各観測点で得られたMTインピーダンスから、構造が1次元であると仮定して、各観測点下の1次元構造を推定した。inversionの手法としては、ある観測値 fitting レベルにおいて最も滑らかな構造を最良モデルとする OCCAM inversion 手法 (Constable et al., 1987) を用いた。その結果、周期が長くなるにつれ見かけ比抵抗が減少するというMT探索曲線の性質を反映して、地表付近において約0.01 S/mの電気伝導度であったものが、地下深部に向かうほど電気が流れやすくなり、下部マントル最上部で1~数 S/mまで電気伝導度が上昇する性質を持つ構造が推定された。上記中国東部地域の北から南にかけてのMT探索曲線の違いを反映して、中国東北部においては、約700kmのところまで1 S/mに達するのに対して、中国南東部においては1200-1500kmの深さまで1 S/mのレベルに達するという相違が認められた。

(2) 3次元海陸分布の影響の見積 -北西太平洋標準1次元モデルとの比較-

4. (1) において、1次元 inversion によ

り、中国東部の北と南で有意に構造に差異が認められ、中国東北部のほうがマントル遷移層の電気伝導度が高く見積もられたことは、スタグナントスラブが存在することで水の供給があり中国東北部のマントル遷移層電気伝導度が高くなっているというネットワーク MT 法と GDS 法との統合解析の結果 (Ichiki et al., 2001) と調和的であった。しかし、主要な 3 次元電気伝導度構造不均質をもたらす要因として、表層付近の大局的な海陸分布の影響が考えられ、1 次元解析の結果が時には誤った結論を導く可能性もある。これは、海水の電気伝導度が陸を構成する岩石の電気伝導度より少なくとも 3 桁以上電気が流れやすいためである。

そこで、Utada et al. (2003) の北西太平洋における 1 次元標準モデルに基づいて計算された磁場変換関数 (Shimizu et al., 2009) と本研究で得られた各地点での磁場変換関数との比較を行った。ここでは、モデル磁場変換関数を推定する際、ユーラシア大陸から太平洋に至る大局的な表層海陸分布が考慮されている、観測値とモデル計算値との比較の結果、中国東北部においては、標準モデルに基づく磁場変換関数と概ね良い一致を示し、むしろ、中国南東部における磁場変換関数がより高比抵抗の傾向を示すという結果となった。

(3) 3 次元孤立型高電気伝導度異常モデルから得られた知見と今後の展望

中国東部における南北方向の磁場変換関数の空間変化の原因を考えるため、Utada et al. (2003) の 1 次元モデルをさらに簡略化し、表層から 400 km までは 0.002 S/m、400 km より深部は 1 S/m である大局的な 2 層 1 次元モデルを考え、その中に層厚 200 km、磁気緯度 45 度を中心とし緯度経度方向に 20 度にわたる、電気伝導度が 1 桁高い大規模な孤立型高電気伝導度異常が存在する場合の 3 次元モデル磁場変換関数を、Uyeshima and Schultz (2000) の forward コードを用いて計算した。その結果、例えばその異常の中心が 500 km の深さに位置する場合、式(A)に従って磁場変換関数より MT インピーダンスを計算しそこから換算した見かけ比抵抗が、異常の存在する領域で北から南に向かうにつれ、低→高比抵抗に変化することが確かめられた。1 次元モデルからの見かけ比抵抗のレベルに対して異常体上の北側ではより低比抵抗となり南側ではより高比抵抗となるコントラストが認められた。このことは、従来一般的に行われてきた、4. (1) で述べたような磁場変換関数から MT インピーダンスに換算して 1 次元 inversion を行う解析手法が、誤った構造を導出してしまう危険性をはらんでいることを示すものである。

4. (2) の結果が示したことは、標準 1 次元モデルから計算された見かけ比抵抗が、中国東北部においてはほぼ観測値と一致し、中国南東部においては観測見かけ比抵抗値が理論値に比べて有意に高くなるということであった。このことと、上述した孤立型高電気伝導度異常モデルで得られた知見をあわせると、中国東部の大局的な 1 次元構造は Utada et al. (2003) の北西太平洋標準モデルに比べて高比抵抗であり、中国東北部から南東部にかけての広範な地域にわたってマントル遷移層あたりに高電気伝導度異常が存在することになる。

本研究で観測を実施しコンパイルを行った中国における磁場データならびにそれを解析して得られた磁場変換関数は、東アジア地域の広域深部電気伝導度構造を推定する上でかけがえのない貴重なものである。今後 3 次元 inversion 解析を行っていくことでスタグナントスラブに関連する高電気伝導度異常分布の詳細が明らかになり、東アジア域の広域テクトニクス解明に重要な貢献を果たすと期待できる。

※本報告ではデータ解析を行った具体的な観測点の位置や、観測で得られた時系列の図、応答関数の図等を公表していない。これは、長春や北京などの指定国際観測点以外の生の磁場データを中国国外に持ち出すことや磁場観測点分布を公表することが、現時点では中国側によって認められていない事情による。中国側共同研究者である湯教授を筆頭著者とする論文公表後、磁場変換関数について数値データを共有できる見込みである。

[参考文献]

Chave, A.D. and Thomson, D.J., 1989, Some comments on magnetotelluric response function estimation, *J. Geophys. Res.*, 94, 14215–14225.

Constable, S.C., Parker, R.L. and Constable, C.G., 1987, Occam's Inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data, *Geophysics*, 52, 289–300.

江原幸雄, 中国大陸の火山・地熱・温泉, 2003, 九州大学出版会, 181 pp.

Fujii, I. and Schultz, A., 2002, The 3D electromagnetic response of the Earth to ring current and auroral oval excitation, *Geophys. J. Int.*, 151, 689–709.

Fukao, Y. and Obayashi, M., 2003, Whole mantle P-wave tomography using P and PP-P data, *J. geophys. Res.*, 108, doi: 10.1029/2001JB000989.

Gamble, T.D., Goubou, W.M. and Clarke, J., 1979, Magnetotellurics with a remote

magnetic reference, *Geophysics*, 44, 53–67.

Ichiki, M., Uyeshima, M., Utada, H., Zhao, G.Z., Tang, J. and Ma, M.Z., 2001, Upper mantle conductivity structure of the back-arc region beneath northeastern China, *Geophys. Res. Lett.*, 16, 3773–3776.

Miyashiro, A., 1986, Hot regions and the origin of marginal basins in the western Pacific, *Tectonophysics*, 122, 195–216.

Shimizu, H., Koyama, T., Baba, K. and Utada, H., 2009, Three-dimensional geomagnetic response functions for global and semi-global scale induction problems, *Geophys. J. Int.*, 178, 123–144.

Utada, H., Koyama, T., Shimizu, H. and Chave, A., 2003, A semi-global reference model for electrical conductivity in mid-mantle beneath the north Pacific region, *Geophys. Res. Lett.*, 30(4), doi: 10.1029/2002GL016092.

Uyeshima, M. and Schultz, A., 2000, Geoelectromagnetic induction in a heterogeneous sphere: a new 3D forward solver using a staggered-grid integral formulation, *Geophys. J. Int.*, 140, 636–650.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4件)

① Zhao, G., Chen, X., Xiao, Q., Wang, L., Tang, J., Zhan, Y., Wang, J., Zhang, J., Utada, H. and Uyeshima, M., Generation mechanism of Wenchuan strong earthquake of M(s)8.0 inferred from EM measurements in three levers. *Chinese J. Geophys.-Chinese Edition*, 52, 553-563, 2009. (査読有)

② Chen, X., Zhao, G., Tang, J., Uyeshima, M. and Utada, H., Impedance tensor of Network-MT and the influencing factors, *Chinese J. Geophys.-Chinese Edition*, 51, 273-279, 2008. (査読有)

③ Uyeshima, M., EM monitoring of crustal processes including the use of the Network-MT observations, *Surv. Geophys.*, 28, 199-237, 2007. (査読有)

④ 上嶋誠・小河勉・小山茂・笠谷貴史・山口覚・藤浩明・村上英記・吉村令慧・大志万直人・丹保俊哉, 新しいネットワーク MT 法観測機器の開発と中部地方における観測計画, *Conductivity Anomaly 研究会 2006 年論文集*, 121-125, 2006. (査読無)

[学会発表] (計 5件)

① 湯吉, 上嶋誠, 趙国沢, 清水久芳, 小山崇夫, 歌田久司, 中国東北区における 3 成分磁場観測について, 2008 年 Conductivity Anomaly 研究会, 2009 年 2 月 17 日, 京都.

② Tang, J., Uyeshima, M., Zhao, G., Xu, G., Utada, H., Chen, X., Yang, D., Zhan, Y., Xiao, Q., Toh, H., Yamaguchi, S. and Nagao, H., The first results of mantle electric structure beneath east part of China from geomagnetic observatory data, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 28 日, 幕張.

③ Uyeshima, M., EM monitoring and Network -MT data (Invited Review), 18th EM Induction Workshop, 2006 年 9 月 21 日, El Vendrel, Spain.

④ Tang, J., Zhao, G., Uyeshima, M., Zhan, Y., Chen, X. and Xiao, Q., Study on the Mantle electrical conductivity structure in eastern China, 18th EM Induction Workshop, 2006 年 9 月 19 日, El Vendrel, Spain.

⑤ Uyeshima, M., Tang, J., Zhao, G., Ichiki, M., Liu, Y., Mingzhi, M. and Utada, H., Spatial extension of mid-mantle high conductivity layer beneath northeastern China, 日本地球惑星科学連合 2006 年大会, 2006 年 5 月 15 日, 幕張.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上嶋 誠 (UYESHIMA MAKOTO)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号: 70242154

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

市來 雅啓 (ICHIKI MASAHIRO)
海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・研究員
研究者番号: 80359182

長尾 大道 (NAGAO HIROMICHI)
海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・研究員
研究者番号: 80359182

山口 覚 (YAMAGUCHI SATORU)
神戸大学・理学部・講師
研究者番号: 70191228

藤 浩明 (TOH HIROAKI)
京都大学・理学系研究科・准教授
研究者番号: 40207519