

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01924

研究課題名(和文) マルチスペクトル画像の波長と空間の高分解能化による地質リモートセンシングの新展開

研究課題名(英文) New frontier in geologic remote sensing by joint downscaling of spectral and spatial resolutions of multi-spectral imagery

研究代表者

小池 克明 (Koike, Katsuaki)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：80205294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：地球観測衛星によるマルチスペクトル(以下MS)画像をハイパースペクトル(以下HP)化・高解像度化するために、波長・空間分解能のジョイントダウンスケーリング法を開発した。まず、MSとHP画像の反射率の関連付けに一般化加法モデルと多変量回帰モデルを用い、反射スペクトルのパターンも考慮することで、MS画像からHP画像への変換が可能になった。空間分解能のダウンスケーリング手法としては、高・低解像度画像の同じ位置における放射輝度の整合性を規準とする放射輝度分割法を開発した。これらを代表的なMS画像であるASTER画像に適用した結果、熱水変質鉱物の分布を金属鉱山周辺で詳細に、高い分類精度で明らかにできた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

資源分野で用いられる衛星画像は地球のほぼ全域をカバーしているが、画像の観測波長数は少なく、鉱物や地質の識別精度は低いに加えて、地表の詳細がわかるほど空間分解能が高くはない。これらが詳細にわかる多波長数のHP画像や高解像度画像が利用できるのはごく狭い範囲に限られ、コストが高い。これらの問題に対し、本研究では一般のMS衛星画像を撮影範囲全体にわたって、HP画像に変換できる手法、および地質リモートセンシング分野で現在の最高水準の空間分解能まで画像を鮮明化できる手法の2つを開発できた。開発手法はリモートセンシングによる金属・地熱資源探査と地質環境監視の精度の向上に貢献できるので、社会的な意義も高い。

研究成果の概要(英文)：This study has developed a joint downscaling method of both spectral and spatial resolutions to clarify mineral distributions related to generation of metal and geothermal resources in detail by transforming satellite multispectral imagery (MS) to hyperspectral imagery (HP). Spectral downscaling was achieved accurately by correlating reflectances between MS and HP images with the generalized additive model of multivariate analysis. Moreover a radiance division method was developed for the spatial downscaling based on a criterion of the correspondence in radiance at a same location on low- and high-resolution images. These two methods were applied to ASTER scene images, a representative MS satellite imagery covering areas of copper and gold deposits and geothermal manifestations, and their effectiveness was demonstrated because typical hydrothermal alteration minerals such as kaolinite and muscovite were discriminated and mapped with high accuracy around the deposits and manifestations.

研究分野：資源地質工学

キーワード：リモートセンシング 衛星画像 ダウンスケーリング 地質マッピング 資源探査 反射スペクトル 短波長赤外域 空間分解能

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

すべての学術分野に共通して「より細部までわかるようにする」のが研究の動機となる 경우가多く、本研究はこれを地質分野でのリモートセンシング技術の画期的向上に当てはめる。この技術では人工衛星や航空機に搭載のセンサにより地表から反射、放射される電磁波エネルギーを波長ごとに観測する。反射は主に、可視から短波長赤外域の $0.4\sim 2.5\ \mu\text{m}$ での現象である。地表の反射特性を表す画像は、マルチスペクトルとハイパースペクトルの2種に分類できる。前者は1回の観測で $60\sim 185\ \text{km}$ 四方という広域の画像を取得できるが、反射率の観測波長帯(バンド)は10個前後と少なく、地表物質の識別精度は低い。しかし空間分解能が高い画像もある。これに対して後者はバンド数が200前後と多く、その識別精度は格段に高い。しかし、地上への送信情報量の制限から空間分解能は低く、観測幅は極めて狭い。前者・後者を代表するセンサ画像として Landsat ETM+, Hyperion があげられるが、Hyperion の観測幅は $7.5\ \text{km}$ しかなく、Landsat に比べて観測範囲は僅かである(図1)。このように両者には一長一短がある。そこで、両者の長所のみを有する新規の画像を作成できないか? という問いが本研究の核心であり、そのための手法を開発し、応用によって金属・地熱資源の分布と生成メカニズムに関する資源地質学、重金属汚染の特定と濃集要因に関する環境地質学を深化させるのが本研究のねらいである。

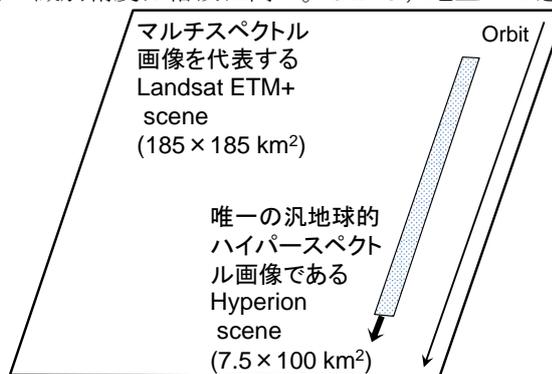


図1 画像の撮影範囲の大きさの相違

2. 研究の目的

上記の背景のもとに、本研究はマルチスペクトル画像の撮影範囲全体にわたって、①ハイパースペクトル画像に変換できる手法、②変換後、地質リモートセンシング分野で現在の最高水準である空間分解能まで画像を鮮明化できる手法、さらに③各画素(画像の最小構成単位)に含まれる地表物質の種類と構成割合を特定できる手法の3つを開発することを目的においた。要は細部まで良く見え、地質解析に有用な反射率情報を最も多く有し、さらに画素以下の地表物質まで識別できる、という理想的な衛星画像の作成を目指すものである。

①のプロトタイプとして PHITA (Pseudo-Hyperspectral Image Transformation Algorithm) と称する新規の手法を開発した。本研究は PHITA をより精度の高い手法へと改良する。また、研究代表者のグループは地球統計学(Geostatistics)を含む数理地質学の分野に実績があり、②はこの成果に基づく。さらに、③は反射率パターンの特徴抽出法に基づく。

本研究による開発手法によって、これまで蓄積されてきた全陸域のマルチスペクトル画像がすべて高解像度のハイパースペクトル画像に変換できる可能性がある。これは資源地質分野に限らず、農作物の生育状況把握、湖沼・河川の水質モニタリングなど、リモートセンシング技術を必要としたすべての分野で広義の資源の探査、開発、品質保全、持続利用の目的に適用できる。よって本研究は学術的貢献に加えて、社会的な意義もある。

3. 研究の方法

3年間での研究方法を以下に示すが、1年目が(1)・(2)、2年目が(3)・(4)、3年目が(5)・(6)の内容である。

(1) PHITA の改良: PHITA では、マルチスペクトル(以下 MS と略す)画像とハイパースペクトル(以下 HP)画像の各バンドでの反射率の間に線形関係が成り立つと仮定し、多変量回帰モデルを当てはめる。最適な回帰モデルは、ベイズ推論に基づく統計量規準によって選出する。ほぼすべての HP バンドで 90%以上の決定係数が得られ、PHITA の有効性が実証された。しかし、例えば $1\ \mu\text{m}$ での反射率を $0.5\ \mu\text{m}$ や $2\ \mu\text{m}$ など、離れた波長での反射率となぜ線形で組み合わせられるのか? という疑問は残り、精度が低い HP バンドも存在する。そこで、MS と HP の反射率の関連付けに、反射スペクトルのパターン認識を組み込んだニューラルネットワーク型のモデルを適用し、MS 画像の波長分解能を向上させる。

(2) 空間分解能向上法の開発: これには同じ範囲を撮影し、正確に位置を合わせた WorldView-3(以下 WV-3 と略す)と Landsat-8 OLI(以下 LO)画像などを用いる。WV-3 の空間分解能は最高レベルにあり、LO は中程度の分解能 $30\ \text{m}$ である。LO の1つの画素は、鉱物識別に有効な短波長赤外域で16個の WV-3 画素から構成される。よって、波長が同じバンドで、LO での1つの反射率が、高解像度画像ではどれほどばらつくのかがわかるようになる。また、このばらつ

きには空間的相関性が存在し、距離が近い画素ほど反射率は類似する。これを地球統計学でのセミバリオグラムによって定量化する。以上の関連付けに基づき、「LOでの1つの反射率 → WV-3画素での反射率にランダムに分解 → これをバリオグラムに適合するように補正」という流れで空間分解能を向上させる。

- (3) スペクトル分解法の開発：WV-3のような高解像度画像でも、1つの画素に1種類の地表物質のみが分布するのは稀であり、画素の反射スペクトルは複数の構成物質(端成分)の反射率を合成した結果となる。従来、合成スペクトルは、端成分の反射スペクトルの単純な加算で近似されてきた。これに対して、Al-OHなどの特有の化学成分による反射率の吸収をすべて抽出し、この吸収特徴と独立成分分析法を用いて合成スペクトルを分離することで、端成分の特定精度を向上させる。この手法をFSUM (Feature-based Spectral Unmixing)と称する。カオリナイト、明礬石、白雲母など、熱水鉱床域に存在する代表的な鉱物を種々の構成割合で混在させた試料を用意し、現有の分光反射計を用いて、FSUMの精度の検証実験も行う。
- (4) 3つの手法の有効性検証：典型的な浅熱水性鉱床域であるアメリカ西部ネバダ州のゴールドフィールド地域を対象とし、LO画像、MSの中では短波長赤外域でのバンド数が6つと多いASTER画像、HPとして代表的なAVIRIS画像、およびWV-3画像を用いる。現地調査を実施し、100箇所以上で地表から試料を採取し、現有のX線回折分析装置によって鉱物組成を求める。これらの分析と上記3手法による解析結果を併せて、LOとASTERから、WV-3と同じ空間分解能でAVIRISと同じ精度の鉱物分布マップを作成できるか？、AVIRISの撮影範囲外でもそのマップの精度は高いか？、FSUMによる端成分の構成割合は正確か？の3点を明らかにする。
- (5) 地熱資源域への応用：これにはバンドン工科大学(ITB)と共同研究を進めているバンドン周辺のWayang Windu地域を対象に選び、HyperionをHP画像として用いる。LOとASTER、Hyperionを用いての画像解析と試料採取、鉱物組成の分析を実施する。WV-3、Hyperionとそれぞれ空間分解能、鉱物識別精度が同程度で、しかも鉱物組成情報まで含んだ詳細な鉱物分布マップを作成し、地熱資源有望地の検出に応用する。
- (6) 干潟堆積物への応用：ベトナム北部のRed River河口域は生物多様性において重要であるが、干潟堆積物の種類の変化と重金属汚染が問題となっている。まず、多くの地点での試料採取と鉱物組成分析、現有の蛍光X線分析装置による重金属濃度測定を実施する。MS画像にSentinelを用い、LO、Sentinel、Hyperionを用いて、広域にわたり詳細な鉱物分布マップを作成する。また、地球統計学によって重金属濃度分布を推定し、これらを統合して重金属濃度分布の支配要因を特定する。

4. 研究成果

マルチスペクトル画像、ハイパースペクトル画像に加えて、マルチスペクトルの高分解能画像を用い、HSRと略する。3年間の研究では、各種別の代表的な衛星画像としてASTER (MS)、AVIRIS (HP)、WorldView-3 (WV-3 : HSR)を選んだ。鉱物識別で特に重要となる短波長赤外域 (SWIR)でのASTER、WV-3の空間分解能はそれぞれ30、7.5 mである。以下に得られた主な成果を要約する。

- (1) 正確な位置合わせを施したMSとHSRでは、MSの1ピクセルはHSRの複数のピクセルに対応する。例えばASTER画像の1ピクセルはWV-3画像の4×4ピクセルからなる。画像1ピクセルのサイズを小さくするという空間分解能向上法では、まず太陽照射方向やバンドのスペクトル応答などを考慮してMSとHSRのラジアンスを補正した。次に、MSの1ピクセルのラジアンスはHSRの複数のラジアンスの和であるという仮定を設け、これらの関係を汎用性の高い多変量回帰モデルである一般化加法モデル (Generalized additive model) で表すことで、放射輝度分割法と称する手法を開発した。
- (2) ASTER、WV-3、AVIRIS画像が利用可能であり、代表的な熱水変質帯として知られているアメリカ西部ネバダ州のキュープライトをトレーニングエリアとし、機械学習のアルゴリズムを適用した。波長と空間分解能のダウンスケーリングとともに、ターゲットはキュープライトの近くにあり浅熱水鉱床域のゴールドフィールドである (図2)。波長分解能のダウンスケーリングではASTER画像をAVIRIS画像とPHITAによってHPに変換し、それらの関係をゴールドフィールドでのASTER画像のHP化に用いた。その結果、ASTER画像よりも明礬石、カオリナイトなどの変質鉱物の識別精度が大幅に向上した。
また、空間分解能のダウンスケーリングに関してはASTERとWV-3で共通するSWIRの4つのバンドをダウンスケーリングに用いた。波長分解能のダウンスケーリングと同様にキュープライトでの規則性をゴールドフィールドに適用し、ASTER画像をWV-3画像の空間分解能まで向上させたところ、ASTER画像の空間分解能以上に明礬石などの分布域を詳細に推定できた (図3)。これら2つの結果は、2018年10月～11月にかけて実施した現地調査、それ

によるサンプルの XRD 分析により検証でき、本研究による HP 化と HSR 化の有効性が確かめられた。

- (3) 2 年目・3 年目にはオーストラリア北部にあるマウントアイザ鉱山周辺を対象地域に選び、MS として代表的な ASTER 画像、HP として航空機搭載型の HyMap 画像を用いた。HyMap の空間分解能は 4.5m と高く、信号対雑音比も大きいので、より多くのバンドデータを利用できる。ただし、ASTER 画像の観測幅 60×60 km に比べて HyMap 画像の範囲は格段に狭く、ASTER

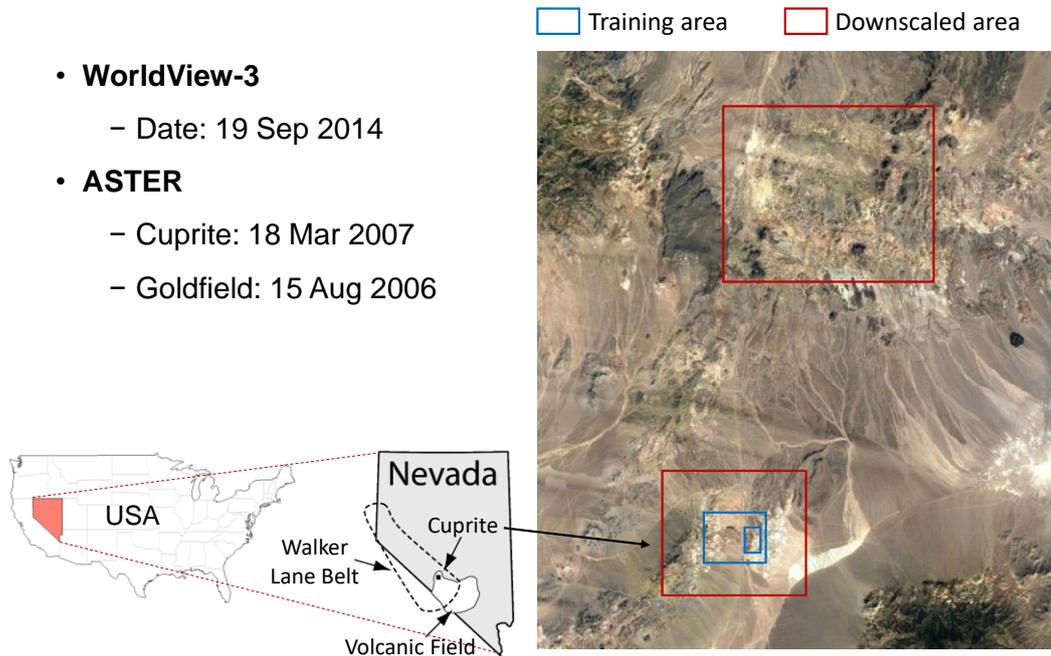


図 2 トレーニングエリアとして選んだアメリカ西部ネバダ州のキュープライト、および波長と空間分解能のダウンスケーリングのターゲットエリアである浅熱水鉱床域のゴールドフィールドの位置と対象範囲。解析に用いた衛星画像の取得日も図中に示す。

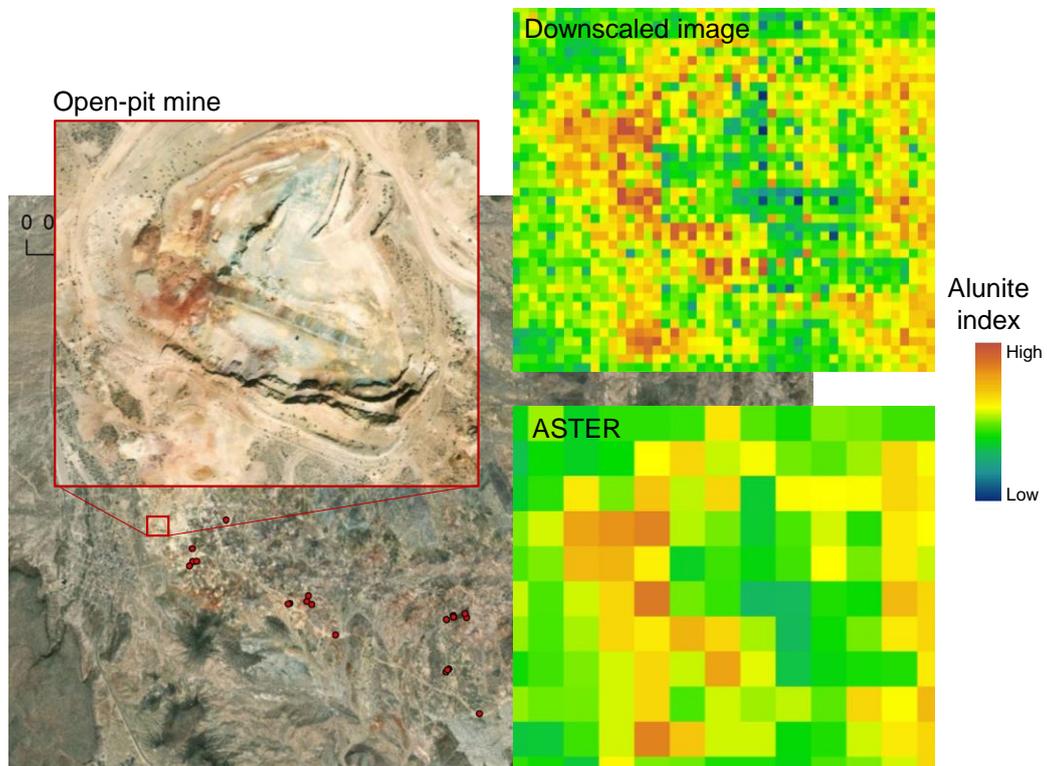


図 3 ASTER 画像に基づくゴールドフィールドでの AVIRIS 画像シミュレーションとそれに基づく明礬石指数分布（上）と ASTER 元画像を用いた明礬石指数分布の比較（下）

画像上の限られた場所を細長くカバーするのみである。空間分解能のダウンスケーリング手法として、最近隣法 (nearest neighbor), 双 3 次補間法 (bicubic), 畳み込みニューラルネット

ワークに基づく超解像 (SRCNN), および本研究で開発し, 高・低解像度画像の同じ位置における放射輝度の整合性を規準とした放射輝度分割法の4つを適用した。

まず, 本研究初年度に開発した PHITA によって, ASTER 画像のスペクトル分解能を HyMap 画像へと変換した。次のステップである空間分解能の向上には放射輝度分割法の精度が高いことがわかり, これと PHITA の組合せで ASTER 画像全体を擬似 HyMap 画像に変換できた。この画像に鉱物分類法を適用したところ, 鉱山周辺での代表的な熱水変質鉱物である白雲母とカオリナイトの分布を, ASTER 画像に基づく結果よりも詳細に, かつ高い分類精度で明らかにでき, 手法の有効性を実証できた (図4)。

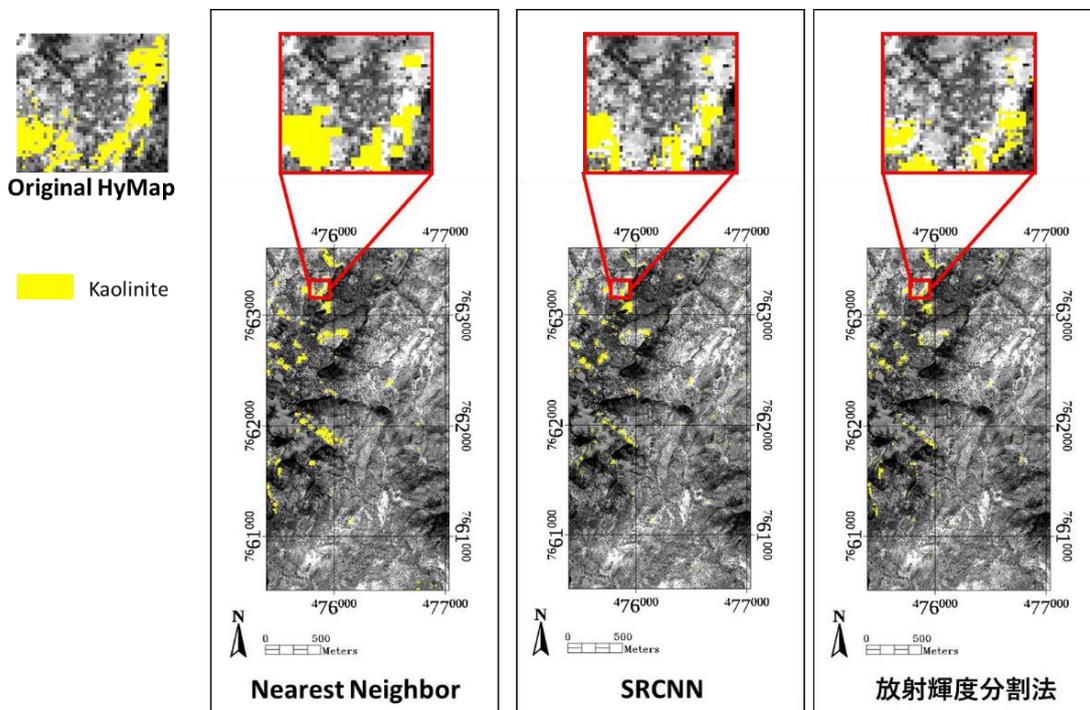


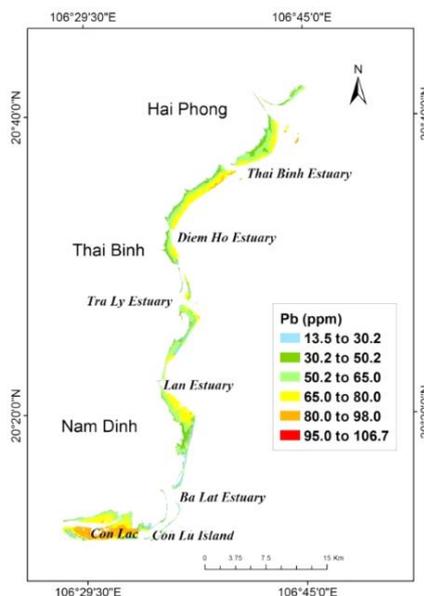
図4 擬似 HyMap 画像から生成されたカオリナイト分布図 (黄色) の比較。左: 最近隣法, 中: 畳み込みニューラルネットワークに基づく超解像 (SRCNN), 右: 放射輝度分割法で高解像度化した擬似 HyMap 画像から分類した結果であり, HyMap 元画像から分類したカオリナイト分布図を左端に示す。

(4) 地熱資源探査の対象地域としてインドネシアの Wayang Windu と Patuha 地熱地区を選んだ。ここでも ASTER 画像を MS に用いたが, HS としては Hyperion 衛星画像を用いた。前年度の研究結果による, 反射率の吸収を強調するようなスペクトル分解法を Hyperion 画像に適用した結果, 植生の反射スペクトルを分離して, 熱水変質鉱物の種類と分布を明らかにできた。PHITA によって ASTER 画像から擬似 Hyperion 画像に変換し, これからも同等の鉱物分布推定精度が得られた。さらに, ドローン画像の適用により, これらの衛星画像の空間分解能を対象地区の一部で向上させることを試みた。

(5) ベトナム北部の Red River 河口域に対しては, HP 画像における反射スペクトルのパターンから粒度組成と含水率を推定することが可能になり, MS 画像である Sentinel 画像の解析と地球統計学の応用により, 干潟域全体にわたり粒度組成, それに基づく地質分類, および含水率の分布を明らかにできた。

また, 重金属の代表として鉛を選び, 多数の堆積物試料の分析により鉛濃度と反射率との関連を見出した。これにも地球統計学を応用することで, 衛星画像の空間分解能以上に鉛濃度の分布を詳細に推定でき (図5), 濃度分布と粒度組成, 含水率分布を統合することで重金属濃度分布の支配要因を概ね特定できた。

図5 ベトナム北部 Red River 河口域周辺における干潟堆積物の推定鉛濃度分布。ハイパースペクトル反射率の特徴から鉛濃度推定の実験式を求め, これと広域的な Sentinel 画像での反射率, 地球統計学との組合せによる推定分布。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mohamad Nur Heriawan, Ahmad Ali Syafi' i, Asep Saepuloh, Taiki Kubo, Katsuaki Koike	4. 巻 -
2. 論文標題 2. 論文標題 Detection of near-surface permeable zones based on spatial correlation between radon gas concentration and DTM-derived lineament density	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Natural Resources Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11053-020-09718-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Alaa A. Masoud, Katsuaki Koike, Mohamed G. Atwia, Mohamed M. El-Horiny, Khaled S. Gemal	4. 巻 83
2. 論文標題 Mapping soil salinity using spectral mixture analysis of Landsat 8 OLI images to identify factors influencing salinization in an arid region	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation	6. 最初と最後の頁 101944
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jag.2019.101944	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Panggea G. Sabrian, Asep Saepuloh, Katsuaki Koike	4. 巻 1
2. 論文標題 Detection of surface displacement from large baseline data pairs by multi-temporal D-InSAR with application to Bandung basin, Indonesia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2019)	6. 最初と最後の頁 6787-6790
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IGARSS.2019.8898328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Luis Andre Magaia, Katsuaki Koike, Tada-nori Goto, Alaa Ahmed Masoud	4. 巻 28
2. 論文標題 Discriminating weathering degree by integrating optical sensor and SAR satellite images for potential mapping of groundwater resources in basement aquifers of semi-arid regions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Natural Resources Research	6. 最初と最後の頁 1197-1215
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11053-018-9445-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nguyen Tien Hoang, Nguyen Thi Hong, Katsuaki Koike	4. 巻 30
2. 論文標題 High versatility and potential of spatial data analysis with R programming	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報地質	6. 最初と最後の頁 3-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6010/geoinformatics.30.1_3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 久保 勇也
2. 発表標題 金属鉱床域での高精度鉱物マッピングを目指した航空機ハイパースペクトル画像のシミュレーション：オーストラリア・クイーンズランド州北部での適用例
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 権守 宏明
2. 発表標題 ハイパースペクトル衛星画像の線形分離法による高植生域地熱地域での熱水変質帯分布の抽出
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保 勇也
2. 発表標題 航空機ハイパースペクトル画像を用いた衛星画像の波長・空間分解能の向上と金属鉱床域での鉱物マッピングへの応用
3. 学会等名 第31回日本情報地質学会講演会 (GEOINFORUM-2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保 大樹
2. 発表標題 複合的なりもーとセンシング解析手法を用いた高植生被覆域での地熱兆候点検出
3. 学会等名 資源・素材学会2021年度春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 久保 大樹
2. 発表標題 ハイパースペクトル衛星画像に基づく植生ストレス指数分布を用いた高植生被覆地域からの地熱流体パスの検出
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小池 克明
2. 発表標題 マルチスペクトル光学センサ画像の観測波長帯と空間の高分解能化による鉱物マッピング精度の向上
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 権守 宏明
2. 発表標題 ハイパースペクトル衛星画像による植生域での熱水変質帯の抽出精度向上
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会(Geoinforum-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Vu Thi Thu Thuy
2. 発表標題 Satellite remote sensing for estimating water content and organic matter distributions in estuary sediments
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会(Geoinforum-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保 大樹
2. 発表標題 リモートセンシング技術を応用した実験的な鉱物同定手法の開発
3. 学会等名 第30回日本情報地質学会講演会(Geoinforum-2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 権守 宏明
2. 発表標題 線形分離法のハイパースペクトル衛星画像への適用による植生被覆地熱地域での熱水変質帯のタイプと分布の抽出
3. 学会等名 資源・素材2019(京都)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsuaki Koike
2. 発表標題 Spectral and spatial joint downscaling method of multi-spectral satellite imagery with geologic applications
3. 学会等名 20th Annual Conference of International Association on Mathematical Geosciences: IAMG2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小池 克明
2. 発表標題 光学センサとSARの衛星画像データに含まれる情報の詳細化および有用情報の引き出し
3. 学会等名 ENVI/SARscapeユーザカンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保 勇也
2. 発表標題 マルチスペクトル画像からハイパースペクトル画像への変換による金属鉱床域での鉱物識別精度の向上：オーストラリア・クイーンズランド州北部での適用例
3. 学会等名 資源・素材学会2020年度春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小池 克明
2. 発表標題 中分解能マルチスペクトル衛星データからの金属鉱床起因情報の高次抽出法
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nguyen Tien Hoang
2. 発表標題 Detailed mapping of metal deposit-related minerals by a combination of hyper- and multi-spectral images with geological information
3. 学会等名 第29回日本情報地質学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Luis Andre Magaia
2. 発表標題 How can satellite imagery be used to locate groundwater wells in semiarid region with crystalline basement?
3. 学会等名 第29回日本情報地質学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuaki Koike
2. 発表標題 Effectiveness of remote sensing techniques for vegetation stress, alteration minerals, and fracture system to detect hydrothermal-originated resources
3. 学会等名 Mining in Asia International Symposium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nguyen Tien Hoang
2. 発表標題 Development of a machine learning-based hyperspectral transformation method with application to potential area of porphyry copper deposit in Chile
3. 学会等名 15th International Symposium on Mineral Exploration (ISME-XV) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Vu Thi Thu Thuy
2. 発表標題 Environmental remote sensing using correlation between reflectance spectra and heavy metal content of tidal flat sediments for monitoring metal contamination
3. 学会等名 15th International Symposium on Mineral Exploration (ISME-XV) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsuaki Koike
2. 発表標題 Advanced Geoinformatic technologies for exploration and sustainability of renewable energy and water resources
3. 学会等名 5th International Conference on Scientific Research (ISR-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	柏谷 公希 (Kashiwaya Koki) (40447074)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	
研究分担者	後藤 忠徳 (Goto Tada-nori) (90303685)	兵庫県立大学・生命理学研究科・教授 (24506)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
エジプト	タンタ大学			
ベトナム	ベトナム国家大学科学校			
インドネシア	バンドン工科大学			
モザンビーク	エドゥアルド・モンドラーネ大学			