

II. 基盤的な調査・研究

7. 地球環境研究

1) 実施体制

代表者： 地球環境研究センター
センター長

笹野泰弘

分担者： 地球環境研究センター

炭素循環研究室

向井人史(室長)、高橋善幸(主任研究員)

衛星観測研究室

森野勇(主任研究員)、青木忠生*(NIESフェロー)

(陸域モデリング担当)

山形与志樹(主席研究員)、安立美奈子(ポスドクフェロー)

温暖化リスク評価研究室

伊藤昭彦(研究員)

地球環境データベース推進室

松永恒雄(室長)

陸域モニタリング推進室

小熊宏之(主任研究員)

大気圏環境研究領域

遠隔計測研究室

杉本伸夫(室長)

アジア自然共生研究グループ

グループ長

中根英昭

※所属・役職は年度終了時点のもの。また、*)印は過去に所属していた研究者を示す。

2) 基盤研究の展望

今中期計画においては、「長期的な視点に立って、先見的な環境研究に取り組むとともに、新たに発生する重大な環境問題及び長期的、予見的・予防的に対応すべき環境問題に対応するため、環境研究の基礎となる研究及び国環研の研究能力の向上を図るため、基盤的な調査・研究、創造的・先導的な研究及び手法開発(以下、「基盤的な調査・研究」という)を行う」こととしている。そして、地球環境にかかわる基盤的な調査・研究として、特に「地球環境の実態把握及びその変化機構の解明に向けた観測とデータ利用研究の強化を図るため、新たな地球環境の監視・観測技術やデータベースの開発・高度化に関わる研究を行う。特に、衛星観測、航空機・船舶等の移動体を利用した直接観測やリモートセンシングに関する研究を推進する」としている。

地球環境研究センターでは、これらの方針に沿って地球環境にかかわる基盤的な調査・研究を進めるため、(1)地球環境の監視・観測技術およびデータベースの開発・高度化に関わる研究、(2)将来の地球環境に関する予見的研究や新たな環境研究技術の開発等の先導的・基盤的研究の2つの分野で研究を進めてきた。その他、(3)地球温暖化防止に向けた技術開発研究を前中期計画期間からの継続課題として実施した。地球環境研究センターにおいては、4重点研究プログラムのひとつである「地球温暖化研究プログラム」を中心的に担うと同時に、地球環境研究センター設立以来実施している地球環境(大気、海洋、陸域)モニタリング、地球環境データベースの構築、地球環境研究の総合化・支援などの地球環境研究センター事業を「知的研究基盤の整備」として担当している。センターの構成員のほとんどすべては、これらの研究プログラム及びセンター事業の推進に深く関わり、その多くのエフォートを傾注している。これら以外の研究活動として、「基盤的な調査・研究」に位置づけて取り組んできた課題は、いずれも基本的には個々の研究者の興味と発想を尊重した個人ベースの研究として実施している。

3) 研究予算

(実績額、単位：百万円)

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	累計
運営交付金	1	1	3	6	3	14
その他外部資金	5	18	46	39	36	141
総額	6	19	49	45	39	155

4) 平成18～22年度の実施概要とその成果

基盤的な調査・研究としての「地球環境研究」は前述の通り、重点研究プログラム（地球温暖化研究プログラム）やモニタリング等の事業とは異なり、いずれも基本的には個々の研究者の興味と発想を尊重した、いわば経常研究的な色彩の強い個人ベースの研究として実施してきた。これまでに実施してきた研究課題は20数件に上るが、本報告では、規模的にさほど大きくない課題、また期間の短い課題ならびに担当者が既に国環研を離れた課題については割愛し、主な課題についてのみ記述する。

(1) 地球環境の監視・観測技術およびデータベースの開発・高度化に関わる研究

(ア) 衛星利用の温室効果ガス全球分布観測に関する先導的研究 (H18-19)

本研究では、GOSAT（温室効果ガス観測技術衛星、2009年1月に打上げ）の運用終了後にあたるPost-GOSAT時代の衛星からの全球温室効果ガス観測のシナリオを作成すると同時に、その実現に必要な技術的課題と解決への展望を示し、Post-GOSAT時代の衛星観測計画策定に資することを目的とした。

炭素収支に関わる研究者らにヒアリング等を実施した結果、a) GOSATと同様の成功基準を、より確実にかつより小さいメッシュサイズ及び短い平均時間で達成できる仕様のセンサ／観測と、b) 地域レベルの炭素収支／ポイントソースの評価に利用出来るデータの取得に関する要望がある事が分かった。また現在世界各国で開発中のCO₂用差分吸収ライダー（DIAL）の技術動向を調査し、さらにそのうち日本が国際競争力を持つ1つの方式について、衛星に搭載した場合のリソース検討を行った。その結果、現時点または近い将来に利用可能な技術によりGOSATを上回る性能を実現できる観測シナリオがある事が分かった。

一方衛星による全球温室効果ガス観測データとCO₂フラックス推定精度の関係をインバースモデル等を用いて評価した既往研究を精査した。衛星観測ではデータ数が多くなるためランダム誤差の影響は大幅に低減される一方、バイアス誤差の影響が支配的になる事が分かった。また、7.5°メッシュ月平均CO₂カラム濃度推定精度が、全球を22分割したモデルでは0.8ppm、66分割モデルでは1.5ppm程度の場合、衛星データ単独でインバースモデル解析に利用しても、地上観測データのみを使った場合と大きくは変わらない事が示唆された。

さらに地域レベル（数十～数百km）のCO₂フラックス推定を地点間のCO₂濃度差観測から行う場合についても検討した。日本の都市域で見られる濃度差の場合には、現行のGOSATの性能では検出出来ない可能性のある事が示された。一方DIALは十分な精度を持つ事が可能であるが、対象地域によってはDIALの精度が最も高くなる夜間には、気象条件により濃度差が解消されるケースがあることも分かった。

以上のような、衛星による温室効果ガス全球分布測定に対する要望調査と、将来型のセンサについての検討結果は、今後の衛星開発計画に資するものと考えている。

(イ) 分光法を用いた遠隔計測に関する研究(H15-20)

人工衛星、地上等からの分光遠隔計測によって地球大気中の微量成分の存在量及びその変動を把握するとき、精度良く必要な情報を得るためには、遠隔計測法、放射伝達の取り扱い、及びデータ解析法に関する検討と微量成分の分光パラメータの高精度化が重要であり、分光学的視点に立って研究を行った。二酸化炭素、

メタン、水蒸気、一酸化窒素、一酸化二窒素の数本の吸収スペクトルを実験室レーザー分光法やフーリエ変換分光法により測定し、分光パラメータを決定し、その精度評価を行った。大気観測用高分解能フーリエ分光計を用いて測定した6年間の二酸化炭素に関する大気吸収スペクトルのリトリーバル解析を行い、季節変動及び経年変動を導出し、この結果を他の観測値やモデル計算値と比較した。更に、メタンやオゾン層破壊関連の物質であるフッ化水素、塩化水素を行った。

(ウ) Intracavity レーザー吸収法と結合した時間分解フーリエ分光法の開発と応用(H18-20)

YLF レーザー励起パルスチタンサファイアレーザーの開発を行い、水蒸気を満たした共振器セルにそのレーザー光を導入させ、その出力を時間分解高分解能フーリエ分光計で測定する装置を組み立て、その動作試験を行った。更に、YLF レーザー励起パルスレーザーをアブレーションに用いて、Fe、Mg、Ca、Na、CO等の発光スペクトルの時間分解スペクトルの測定に成功した。これらのことから、時間分解フーリエ変換型分光器と Intracavity 吸収セルを組み合わせた高感度時間分解赤外分光装置の開発に成功し、ユニークな微量成分分光法の一つが実験室で実現できたと言える。(研究代表者：岡山大学自然科学研究科川口建太郎教授)

(エ) 光通信用波長可変光学フィルタを用いた大気微量成分の高精度分光装置の開発(H19-20)

光通信用に開発された安価、高精度、高安定な波長可変光学フィルタ装置を用いた大気微量成分の分光測定装置を開発した。本研究で開発した分光装置を用いて太陽直達光による大気微量成分の吸収スペクトルを観測した。取得したスペクトルのデータ解析を行い、大気微量成分の吸収スペクトルが測定することに成功した。野外観測装置値としての可能性を検討した結果、価格的には普及の可能性はあるが、更なる基礎的研究を継続し測定精度や感度を定量化する必要があると考えている。

(オ) 遠隔計測データ中の地形及び分光特徴の自動認識に関する研究(H17-22)

本研究では衛星や航空機から取得された遠隔計測データから、地形及び分光特徴を自動的に認識・抽出する技術の開発を行った。まず10cmより高い空間分解能の航空機リモートセンシングデータを対象として、雪面上の野生動物の足跡を自動抽出するアルゴリズムを開発した。さらに画像中の野生動物の移動経路情報より当該種の生息範囲、生息環境に関する情報を抽出する技術の開発を進めた。

また、衛星に搭載された可視短波長赤外分光計のデータの校正および特徴の自動抽出アルゴリズムを開発し、月探査衛星「かぐや」のデータに適用した。その結果、従来の周回衛星による探査では確認できなかった鉱物(斜長石)の大規模露頭を確認したほか、月マントル起源と考えられる鉱物(かんらん石)の露出した地点が大型衝突盆地の周辺にのみ分布することを明らかにした。

(カ) 分光法を用いた大気計測に関する基盤的研究(H21-25)

メタンの分光パラメータについて、これまで作成したスペクトル線リストを文献値等と比較したところ、バイアスがある部分が存在することが明らかになった。これまでに測定してきた実験室フーリエ分光スペクトルデータのスペクトル解析の検討を開始した。大気観測用高分解能フーリエ分光計を用いて、GOSATの検証作業に適した観測モードでの通常観測を開始した。本装置の検定のために、平成21年1月7、15日に実施した航空機同期観測で取得したデータの解析を行ったところ、大気観測用高分解能フーリエ分光計と航空機観測の結果は、これまでの他の観測地点の結果に対して直線上に乗った(検定に成功した)。その結果を受けてTCCON(*)に正式に加入が認められた。また、メタンやオゾン層破壊関連の物質であるフッ化水素、塩化水素の観測及び解析を継続した。(*Total Carbon Column Observing Network、GOSAT等の温室効果ガス観測衛星データを検証するための最も有効な地上設置高分解能フーリエ分光計観測網であると考えている。)

(2) 将来の地球環境に関する予見的研究、環境研究技術の開発等の先導的・基盤的研究

(キ) グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究 (H20-22)

これまで観測が難しかった熱帯の森林域を、雲を透過する合成開口レーダー (PALSAR) 等を用いて衛星から定期的に観測し、森林減少・劣化に伴うCO₂ 排出を定量的に評価する森林炭素監視システムの構築に寄与することを目的として、リモートセンシング情報を活用することにより森林減少や森林劣化を定量的に把握する監視手法について検討をおこなった。また、森林インベントリとモデルシミュレーションを用いて森林減少の防止活動に伴うCO₂排出削減量の定量的評価を行った。

(ク) 大気・陸域生態系間の炭素収支研究における化学トレーサーの利用に関する基礎的研究 (H20-22)

大気・陸域生態系間の炭素収支および炭素循環プロセスの研究を高度化することを目的として、CO₂ の同位体や他の微量成分を指標 (化学トレーサー) として利用するための観測技術の開発を行った。これらの化学トレーサーの大気陸域生態系間の交換について、群落スケールでの代表値を観測するための微気象学的手法と生態系内の変動プロセスを観測するためのチャンバー手法を開発し、信頼性の高いデータを得るための技術的な知見を集積した。これは陸域生態系と大気とのCO₂の交換量の変動とその環境因子に対する応答特性の解析の高度化につながり、将来的な気候変動に対する陸域生態系の炭素交換量の変動の推定の高精度化に貢献する。

(ケ) 環境試料を用いた物質循環の変動や汚染の指標に関する研究 (H21-25)

環境試料として大気エアロゾル、降水、降雪を用い、汚染や発生源の指標性を金属元素組成や鉛同位体比、硫黄同位体比などを用いて研究を行う。富山、宮城、京都など地方の環境研究所と協力して、各地の試料採取や分析、解析などを行い、地域ごとの特徴を抽出した。また長期的なモニタリングとして島根県隠岐島におけるエアロゾルのモニタリングのためのサンプラーを再整備し、試料の安定採取のために対策を施した。採取されたエアロゾルは、アジアでの汚染の発生量や日本海での海洋起源の有機物のDMSの発生量変化などを長期的に分析するために長期保存するが、成分変化が起こらないように-20°Cの試料保存庫での保存を行い、一部はタイムカプセル棟に保管した。

(コ) 指標生物群を用いた生態系機能の広域評価と情報基盤整備 (H21-23)

日本長期生態学研究ネットワーク (JaLTER) を中心としてモニタリングサイト 1000、JapanFlux といった現状の各生態系観測ネットワークの連携を強化することによって、森林生態系における生態系総合監視システムを構築し、生態系機能の時空間的変動を明らかにするための指標生物群を特定することを目的として、林冠の機能やフェノロジーを多点でモニタリング可能とする簡便な近接リモートセンシングセンサーを開発した。複数の JaLTER サイトにセンサーを設置し、森林の季節変動を観測した。画像解析手法を開発し、モニタリングサイト 1000 事業にも提供した。

5) 平成 22 年度の実施概要とその成果

(ア) 遠隔計測データ中の地形及び分光特徴の自動認識に関する研究 (H17-22)

平成 22 年度には、衛星によって取得された膨大な分光データから、指定された品質、特徴を持つデータのみを自動検出するアルゴリズムの開発を行い、月探査衛星「かぐや」のデータに適用した。その結果、総数 7000 万点のデータの中から月マントル起源と考えられる鉱物 (かんらん石) が露出した地点のデータを 250 点ほど発見した。さらにその分布が大型衝突盆地の周辺域のみに分布することを明らかにした。

(イ) 分光法を用いた大気計測に関する基盤的研究 (H21-25)

これまでに測定したメタンの実験室フーリエ分光スペクトルデータにおいて、自己広がりスペクトル解析

を行い、文献値等の違いを定量的に見積もった。更に、実験で用いたメタンサンプルの燃焼分析を行い、この違いの原因の検討を行っている。大気観測用高分解能フーリエ分光計を用いて、GOSAT の検証作業に適した観測モードでの通常観測と解析を継続した。また、メタンやオゾン層破壊関連の物質であるフッ化水素、塩化水素の観測及び解析を継続した。

(ウ) グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究 (H20-22)

東南アジアのボルネオ島における 1981 年から 2009 年までの過去 30 年間にわたる森林減少域を抽出し、さらに陸域モデルで推定された炭素収支パターンを適用することで、CO₂ の放出・吸収マッピングを作成した。陸域モデルにおいては、森林から農耕地への転換に伴う土壌条件の変化に着目し、土壌パラメータの変化と、それに伴う水収支や炭素動態への影響という実際の減少を反映させたモデル高度化が達成された。

(エ) 大気・陸域生態系間の炭素収支研究における化学トレーサーの利用に関する基礎的研究 (H20-22)

森林群落内での化学トレーサーとなる成分の変動を観察するために開発・作成した大気試料サンプリングシステムの動作確認を行った後、国内の森林フラックスサイト内に設置し、実際の森林群落内においてサンプリングを開始した。

(オ) 環境試料を用いた物質循環の変動や汚染の指標に関する研究 (H21-25)

隠岐島にはエアロゾルサンプリングのために、五箇村にある国設大気測定局に 2 台の ローボリュウムサンプラー設置している。22 年度はこれらを新たなサンプラーに置き換え、継続的サンプリングを行った。ほぼ同型ではあるが、現場操作が容易な形とし、質量流量が測定できる流量計を追加した。

(カ) 指標生物群を用いた生態系機能の広域評価と情報基盤整備 (H21-23)

林冠の機能やフェノロジーを多点でモニタリング可能とする簡便な近接リモートセンシングセンサーを開発し、複数の JALTER の森林サイトにて観測を開始した。カメラ画像から植生のフェノロジーを自動判定する手法を開発した。

6) 自己評価

「衛星利用の温室効果ガス全球分布観測に関する先導的研究」においては、2009 年 1 月に打ち上げられた GOSAT 衛星の運用期間 (5 年を予定) 終了後の、将来の衛星観測計画策定に資することを目的とし、データ利用者側の要望を調査し、また GOSAT とは異なる原理に基づく差分吸収ライダー (DIAL) の可能性を検討した。地球上の二酸化炭素収支分布を推定する場合、GOSAT 型のセンサーをさらに高精度化したとしても、推定結果にはバイアス誤差が主要な誤差要因となることから、衛星センサー単独での推定には限界があることなどを明らかにした。一方、DIAL にはこれを上回る可能性が存在する。これらの成果は、GOSAT 後継シリーズの検討を進める上で、貴重な情報となっている。

「グローバルな森林炭素監視システムの開発に関する研究」では、地球温暖化の要因のひとつである森林減少を検出・監視するための手法・システムの開発に関する研究を進めており、気候変動に関する国際パネル (IPCC) で提示されている簡便法に替わり得る、炭素アカウンティング手法の検討を行った。

この他、経常研究的な小規模のものから地球環境研究総合推進費を得て行った研究まで、また室内実験などの基礎的な研究からフィールドでの観測実験までを含む、多様な研究が基盤的な調査・研究として実施された。これらの基盤的な調査・研究の成果は将来的に、地球環境研究を支える上で重要な研究手段や基礎データを提供するものと考えている。

これまで、基本方針として「地球環境の実態把握及びその変化機構の解明に向けた観測とデータ利用研究

の強化を図る」ことを目的として、個別研究課題に関してはボトムアップを基本として研究を進めてきた。先の外部評価委員会から指摘のあった、このような基盤的な調査・研究にセンターとしてどれくらいの比重を置き、プログラムとどうつなげるのかという点については、次期中期計画の策定作業の中で検討を進めているとことである。

誌上発表及び口頭発表

1 誌上発表（査読あり）

5年間の報告数（38件）

平成22年度分

- Asada N., Hirata N., Demura H., Harada N., Shibata Y., Kikuchi S., Hodokuma T., Haruyama J., Ohtake M., Yokota Y., Morota T., Honda C., Matsunaga T., Ogawa Y., Torii M., Nimura T., Araki H., Tazawa S. (2008) Computational geology for lunar data analysis from LISM on Kaguya, *Advances in Geosciences*, 19, 77-88.
- Haruyama J., Ohtake M., Matsunaga T., Morota T., Kawasaki H., Honda C., Yokota Y., Torii M., Abe M., Otake H., Nimura T., Ogawa Y., Yamaji A., Takeda H., Shirao M., Asada N., Demura H., Hirata N., Terazono J., Kodama S., Nakamura R., Minami S., Iwasaki A., Miyamoto H., Arai T., Sugihara T., Yamaguchi Y., Saiki K., Hiroi T., Sasaki S., Akiyama H., Hara S., Hioki K., Hashimoto M., Kurashina Y., Torii K., Yoshizawa A., Nakanotani S., Inoue J., Masuda N., Josset J.-L., and Pieters C. M. (2009) Preliminary Results of the SELENE Terrain Camera, *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Space Technology Japan*, 7 (ists26), Tk_61-Tk_66
- Kobayashi N., Inoue G., Kawasaki M., Yoshioka H., Murta I., Nagahama T., Matsumi Y., Tanaka T., Morino I. et al. (2010) Remotely operable compact instruments for measuring atmospheric CO₂ and CH₄ column densities at surface monitoring sites. *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1103-1112.
- Kodama S., Ohtake M., Iwasaki A., Haruyama J., Matsunaga T., Nakamura R., Demura H., Hirata N., Sugihara T., Yamamoto Y. (2010) Characterization of Multiband Imager aboard SELENE: Pre-flight and in-flight radiometric calibration. *Space Science Reviews*, 154 (1-4), 79-102
- Lyulin O.M., Perevalov V.I., Morino I., Yokota T., Kumazawa R., Watanabe T. (2010) Measurements of self-broadening and self-pressure-induced shift parameters, of the methane spectral lines in the 5556-8211:6166 cm⁻¹ range. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 112, 531-539.
- Morino I., Uchino O., INOUE M., Yoshida Y., Yokota T., Wennberg P. O., Toon G. C., Wunch D., Roehl C.M., Notholt J. et al. (2010) Preliminary validation of column-averaged volume mixing ratios of carbon dioxide and methane retrieved from GOSAT short-wavelength infrared spectra. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 3, 5613-5643.
- Morota T., Haruyama J., Ohtake M., Matsunaga T., Honda C., Yokota Y., Kimura J., Ogawa Y., Hirata N., Demura H., Iwasaki A., Sugihara T., Saiki K., Nakamura R., Kobayashi S., Ishihara Y., Takeda H., Hiesinger H., Timing and characteristics of the latest mare eruption on the Moon (2010) *Earth and Planetary Science Letters* (in press)
- Morota T., Haruyama J., Ohtake M., Matsunaga T., Kawamura T., Yokota Y., Honda C., Kimura J., Hirata N., Demura H., Iwasaki A., Sugihara T., LISM Working Group (2010) Timing and duration of mare volcanism in the central region of the northern farside of the Moon. *Earth Planets Space*, 62, 1-9
- Nikitin A.V., Lyulin O.M., Mikhailenko S.N., Perevalov V.I., Filippov N.N., Grigoriev I.M., Morino I., Yokota T., Kumazawa R., Watanabe T. (2010) GOSAT-2009 methane spectral line list in the 5550-6236 cm⁻¹ range. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 111 (15), 2211-2224.
- Ohtake M., Matsunaga T., Yokota Y., Yamamoto S., Ogawa Y., Morota T., Honda C., Haruyama J., Kitazato K., Takeda H. (2010) Deriving the absolute reflectance of lunar surface using

- SELENE (Kaguya) Multiband Imager data. Space Science Reviews, 154 (1-4), 57-77
- Takayama T., Iwasaki A., Yokota Y., Morota T., Haruyama J., Matsunaga T., Ohtake M. (2011) Validation of frame transfer correction of SELENE/LISM/MI, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (accepted)
- Wunch D., Toon G.C., Wennberg P.O., Wofsy S.C., Stephens B.B., Fischer M.L., Uchino O., Machida T., Morino I., Tanaka T. et.al. (2010) Calibration of the total carbon column observing network using aircraft profile data. Atmos. Meas. Tech., 3, 1351-1362.
- Yamamoto S., Nakamura R., Matsunaga T., Ogawa Y., Ishihara Y., Morota T., Hirata N., Ohtake M., Hiroi T., Yokota Y. Junichi Haruyama (2010) Possible mantle origin of olivine around lunar impact basins detected by SELENE. Nature Geoscience, 3, 533-536
- Yoshimatsu T., Iwasaki A., Haruyama J., Ohtake M., Matsunaga T., Lunar surface roughness estimation using stereoscopic data, Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Space Technology Japan, 7 (ists26), Pk_29-Pk_34
- 橋本若路, 大竹真紀子, 横田康弘, 春山純一, 松永恒雄, 鳥井健司, 蔵品豊 (2010) 月周回衛星かぐや (SELENE) マルチバンドイメージャデータの幾何補正. 日本リモートセンシング学会誌, 30 (2), 90-104.

2 誌上发表 (査読なし)

5年間の報告数 (1件)

平成22年度分

・松永恒雄、土田聡、岩崎晃、大木永光、山本聡、最近の衛星ハイパースペクトルリモートセンシングを巡る状況と将来の課題について、日本リモートセンシング学会誌、第30巻、第3号、pp166-170、2010年7月

3 口頭発表 5年間の報告数 (括弧内は平成22年度の新たな報告)

国外： 44件 (11件)

国内： 89件 (14件)