

研究課題別 事後評価結果

1. 研究課題名:アイソトポマーによる温暖化気体ソース・シンクの定量的評価

2. 研究代表者:吉田 尚弘 (東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター 教授)

3. 研究内容及び成果

CREST で開発した同位体の組み合わせで多種存在するアイソトポマー(同位体分子種)の計測・解析法を、本研究ではさらに発展させた。具体的には環境物質として重要な温暖化ガスについて、アイソトポマーの質的情報を定量的に読み取りながら、それらのサイクルを詳細に解析し、環境変化の現象解明に貢献することを目指した。温暖化ガスの中では、未だそのサイクルに不確実性が高いメタン(CH_4)と一酸化二窒素(N_2O)を主たる研究対象として取り上げた。

[成果の概要]

1)アイソトポマーによる温暖化ガスのソース・シンク評価

CH_4 および N_2O を中心に起源(ソース)「推定」から、より高精度の消滅源(ソース・シンク)の「特定および定量的評価」の提案に向けたネットワーク活用モニタリングとソース・シンクのキャラクタリゼーションを中心に行った。自然起源と人為起源に分け並行して実施した。

①自然起源(地球規模)

国内外協力機関と連携して、成層圏大気、海洋海水、陸域環境試料、京大和歌山研究林でのガスおよび環境水、シベリア降水、アラスカ北部ツンドラ地域(メタンソース)大気、アメリカ・アリゾナ州のバイオスフィア2等について試料収集と観測を実施し、評価解析を行った。

成層圏では光化学反応により N_2O が分解される結果、アイソトポマーが大きな分別を受けて特徴的な高度分布を示すことがわかり、アイソトポマーが現場の光化学過程や大気輸送等の物理過程と、対流圏収支を評価する上で有用な情報を与えることを明らかにした。

次に、海洋の溶存 CH_4 と N_2O アイソトポマー比より、それぞれの生成過程の寄与率を深度・海域ごとに明らかにし、大気-海洋間の交換についての理解を深め、全球収支に海洋が果たす役割を明らかにした。また、森林のように酸化還元環境の異なる土壌で、 CH_4 と N_2O の吸収と放出が見られる不均一系において正味のフラックスがどのメカニズムにより規定されているかをアイソトポマー比とモデルにより明らかにしつつある。

さらに、伐採直後であっても、大気由来の硝酸は流出しておらず、生態系が硝酸を保持していることが判明した。陸域環境では、 CH_4 と N_2O の起源物質、酸素濃度等の環境因子、および微生物相が不均一に分布しており変動が大きい。そこでこれらの結果よりデータアーカイブを取得し、環境プロセスの模擬実験等を通じて CH_4 と N_2O 生成・消滅の関数化を行い、環境ごとのソース・シンクの代表値を評価した。

②人為起源

温暖化ガスのソースとして重要な農業起源、工業起源のキャラクタリゼーションを行った。

工業起源としては火力発電や自動車からの燃焼系の排ガス、化学工場での排ガス等について、排出源企業や研究所の協力を得て試料採取と計測・解析を行った。排出削減技術の導入前後で排ガス中の CH_4 と N_2O 濃度が変わる一方、アイトポマー比も大きく変動し、工業起源排ガスの付加とその削減による効果が明らかになり、大気環境への影響を評価する方法として確立した。また、農環研との共同研究により、稲作期間を通じて定期的試料採取を行い、田面水の状況に合わせたサンプリングを実施し、同位体比の計測を行った。その結果、水田および畑地から放出される CH_4 と N_2O アイトポマー比について新たな特徴づけが出来た。バイオマス燃焼由来の CH_4 と N_2O について、燃焼効率、基質植物の同位体比との関連を明らかにした。

2) 計測法の開発

① 温暖化ガスおよび、その起源物質の計測法

電解操作による水の ^{17}O 計測法を企業と共同で考案した。雨滴一粒で水同位体比を分析するための液体窒素による雨滴回収方法を確立した。現在装置の小型化を検討している。温暖化ガスの起源物質として重要な易分解性有機物や無機塩類等の計測法を新たに開発し、実際の環境計測に応用した。中空糸膜脱気モジュールを利用した全溶存気体抽出・捕集および溶存酸素三種同位体分析の方法を確立し、環境測定に適用した。質量数 47- CO_2 等、複数同位体置換種や4種硫黄同位体の計測法の開発に向けて予察的な研究を行った。これらによりアイトポマー計測の新しい展開と、温暖化の現象解明に寄与した。

② 中赤外レーザー分光法の開発

波長 3~5 μm 帯の中赤外領域でレーザー分光計測法の開発を行った。この波長領域には OH、NH、CH 基の伸縮振動の基本振動スペクトルがあり、その吸収強度が強い。従って検出感度と比決定精度の向上が期待出来る。また、スペクトル線が重なるという問題を解決するためにサブドブラー分解能をもつ分光システムの開発を進めた。光共振器吸収セルを作製し導入したところ、メタン分子の吸収線を飽和させるには十分な強度となった。この改良に基づき、従来のフリンジの透過率ではなく、フリンジのスペクトル幅を測定することで、簡単な装置を用いた高精度の測定が出来ることがわかった。現在環境試料について検討しているが、質量分析とほぼ一致するデータが得られ、新たな計測法として活用出来ることが示唆された。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

発表論文 91件

その他著作・レビュー 15件

口頭発表 180件

特許出願(国内) 3件・(外国) 1件

CREST 研究を通じて開発された新しい同位体分析用質量分析機器を用い、種々の環境試料への対応は非常に進展した。特に温暖化ガスのソース・シンクを評価する上で、 N_2O および CH_4 アイソトポマー比測定の有効性が認められ、現在世界中の研究機関で測定環境を整備している状況である。研究代表者は数多くのデータ発信やモデル化シミュレーション等を通じ、それらの研究をリードしている。窒素循環プロセスについて全体のフラックスの不確定性を大幅に低減するところまでは至っていないが、アイソトポマーの自然存在比を精密に計測する技術を用いて、様々なスケールの環境における物質循環システムが明確化されることが大いに期待出来る。また、分子分光法として中赤外光源を用いてサブドップラー分解能を活用する方法や、水の ^{17}O を精度よく測定する方法を編み出した。これらの成果は特許出願や、装置開発への展開等を行うことにより、環境計測分野において有力な武器となり得る。

4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

本研究は独自の方法による環境物質に関するソース・シンクの定量的評価を扱っており、大変ユニークでかつ重要なアプローチである。

環境物質の計測・解析について、温室効果ガス(N_2O 、 CH_4)のアイソトポマー比の測定・解析手法を進展させたことは評価出来る。しかし、個別発生源のフラックス値の設定や、論理的妥当性の検証方法が常に問われており、目標である温室効果ガスのソース・シンクの定量的評価にはまだなすべきことが多いと考えられる。国際機関との協力体制を継続することや、得られたデータに関し、厳しく吟味することは重要である。高度解析手法の開発については、科学の進展における計測技術の寄与の重要性を考えると、このような地道な開発が並行して行われたことは高く評価出来る。地球温暖化ガス対策はもちろんのこと、ヒトを含めた生体内での代謝の研究や代謝産物の研究にも展開されることを期待する。

4-3. その他特記事項(受賞歴等)

2001年7月に横浜で主宰した第1回国際アイソトポマー会議(1st ISI (International Symposium on Isotopomers)、JST主催、IAEA (International Atomic Energy Agency) および European Commission 共催)に続き、2003年11月にイタリアで第2回 ISI をヨーロッパ連合と共催し、これらの会合により IAEA 等の公的機関、国際機関との協力体制等の基礎が固まった。また第3回 ISI をカルフォルニア大学(UCSD)主催で2006年8月に共催した。さらに、2008年には日本で第4回 ISI が開催される予定である。

本研究期間中の主な受賞は次の通りである。

吉田尚弘	スガ財団特別技術功労賞	平成16年4月
	日産科学賞	平成17年3月