

(資料 40) 平成 14 年度終了特別研究の評価状況

1 大気汚染・温暖化関連物質監視のためのフーリエ変換赤外分光計測技術の開発に関する研究

研究の概要

本研究では、国立環境研究所地球温暖化研究棟 3 階に設けられた大気微量成分スペクトル観測室内及び屋上に設置された「衛星センサー分光パラメータ評価実験システム」を使用し、太陽及び人工光源を用いて、光源と上記システムを構成する高分解能フーリエ変換赤外分光計 (Fourier Transform InfraRed spectrometer; FTIR) 装置の間に存在する温室効果ガスあるいは大気汚染物質の吸収スペクトルを観測した。太陽光源の場合には、太陽を自動追尾して太陽光を FTIR 装置に導入して大気微量成分の高分解能吸収スペクトルを測定し、吸収スペクトルの幅を利用してその高度分布を測定した。また、人工光源の場合には、別の建物の屋上あるいはベランダに置いた送信望遠鏡により、光源からの光を平行光線にして太陽追尾装置に送って FTIR 装置に導入し、光源と FTIR 装置の間の大気微量成分の吸収スペクトルからその平均濃度を測定した。

研究期間

平成 12～14 年度 (3 年間)

研究予算額

総額 59 百万円

課題代表者

中根 英昭 (大気圏環境研究領域)

研究成果

太陽を光源として地上から赤外吸収スペクトルを測定した場合、吸収スペクトルの形は圧力で変わるため、高高度の吸収スペクトルの幅は狭く、低高度のスペクトルの幅は広い。この効果を用いると大気微量成分濃度 (体積混合比) の鉛直分布を測定することができる。本研究では、 CO_2 、 CH_4 、 O_3 、 CO 及び N_2O の鉛直分布を観測した。まず、 CO_2 については、波数分解能 0.03cm^{-1} で波長 $1.58\mu\text{m}$ (波数 6330cm^{-1}) 付近の短波長赤外域の吸収スペクトルを測定し、大気微量成分の鉛直分布を計算した。この場合、高度 1～2 km の高度で精度が良く、1 % より良い精度で観測できる見通しが得られた。地上から大気上端までの平均濃度についても 1 % より良い精度で測定できることが明らかになった。 CH_4 、 O_3 、 CO 及び N_2O については、波数分解能 0.0035cm^{-1} という高分解能で太陽を光源として吸収スペクトルを測定した。いずれについても鉛直分布の測定が可能であることを示した。 O_3 については、FTIR による観測結果とオゾンレーザレーダー (オゾンライダー) の観測結果を比較したところ、高度 20-30km において 7 % 以内で一致していた。地上に光源

を置いた場合には、CO₂、CO、CH₄、N₂O の光路上の平均濃度が 1 – 4 %の精度で測定が行われていることが分かった。測定誤差としては、信号雑音による誤差の他に、気温の誤差の影響、水蒸気の影響が重要であるのでこれらの誤差について順次解析した。その結果、信号雑音による誤差は、信号強度と雑音の比（SN 比）が 100 以上では無視できること、気温の影響は CO、CH₄、については実質的に問題がないが、2240cm⁻¹（4.5μm）付近の中赤外域を用いる場合は CO₂ については無視できないことが明らかになった。また、妥当な波長域を選びかつ水蒸気の濃度を求めてその影響を補正するならば、他の成分への影響を十分抑えられることが分かった。

評価結果（総合評価）

A : 2 B : 11 C : 2 D : E :

評価結果の概要

地上から大気成分の鉛直分布を測定しようとする意欲的な研究において有用な成果が得られたことが評価された。更に、衛星観測の検証や衛星センサーのアルゴリズム開発への利用を行うことについての期待が示された。同時に、より精度を高めること、他の手法による観測との比較を行うこと、長期間継続した観測を行うこと、国際的な協調体制を構築する上でのイニシアティブが必要であることが指摘された。

対処方針

今後、航空機による直接測定との比較、解析アルゴリズムや誤差評価の高度化を行いつつ、長期的に観測を継続できる体制を作って行きたい。また、二酸化炭素やメタンを中心に、衛星観測の検証、国際的ネットワークの強化に向けた努力を行いたい。同時に、赤外吸収スペクトルの線強度や線幅等の分光パラメータの精度を向上させるための分光実験室の整備等を行う計画である。

2 干潟等湿地生態系の管理に関する国際共同研究

研究の概要

干潟生態系は現在、最も開発に曝されている生態系の一つである。開発に対する総合的・科学的・客観的評価がこれまで十分に行われない状況にあった。そこで、干潟生態系への開発影響を定量的・客観的に、物質循環的機能の観点から評価する手法の検討を行った。

研究期間

平成 10～14 年度（5 年間）

研究成果

モデル調査地として全国の 13 地点の標準的な干潟、東京湾富津干潟、盤洲干潟を例に干潟生態系の構造と機能の把握に関する調査を例に、生物地球化学的な観点から干潟の生態系について研究した。生態系機能の評価のため JHGM モデルを事業の比較対象地に適用するため、東京湾の比較調査を実施した。干潟の航空写真撮影と現地踏査、底生生物・底生藻類等の調査から各干潟生態系の構造と機能を明らかにした。小櫃川河口塩生湿地における高等植物の分布調査、測量調査、土壤環境調査を実施し、塩性湿地植物、海浜植物、陸上植物の総合被覆度を指標に環境（土壤水の電気伝導度、比高等）との関係を示す生育地適性（HSI）モデルを作成した。

研究予算額

総額 92 百万円

評価結果（総合評価）

A : 2 B : 12 C : 1 D : E :

評価結果の概要

時期を得た重要な研究であり、従来の評価法に対して干潟に適した新たな JHGM を提案した成果が高く評価された。国内の干潟に関する比較がなされ、干潟保全の為の基礎的なデータを相当量収集し、底質特性等をよく調査し、生態系の「構造」についての解析できており、評価要素と数値化はなされたと評価された。干潟の構造とその機能の把握をめざした堅実な手法、選んで課題に向けて行った作業、努力が評価された。生態系の管理評価は非常に重要であるから湿地生態系の研究を続けるよう要望された。今後の発展のためには、周辺の環境変化・流域との関係・地形・塩分濃度・流れ・波などの物理的要素を取り入れ、生態系の「機能」、社会条件も視野を研究するとよいとの指摘を受けた。価値あるデータを総合的に解析し、生態系の特性を表すパラメーターの提案、干潟形成メカニズムに関与する指標の導入、管理手法の開発へと発展させ、多くの場で使用される手法にするように要望された。国際的貢献・国際的視点・国際的フレームの区別を明示し、残された希

少な干潟の保全水準・目標、守るべき基準を明らかにし、管理目標を明確にすることが今後の課題であるとの指摘を受けた。地域を代表する手つかずの干潟の保全や維持する手法の開発研究が必要との指摘を受けた。

対処方針

今後、干潟流域の環境変化・物理的要素・社会的要素を取り入れ、生態系の機能評価手法を完成させて行きたい。本研究のデータを総合的に解析し、生態系の特性の指標の提案、干潟形成メカニズムに関与する指標の研究、エコシステムマネジメント手法の開発へと発展させ、使用される手法に進歩させたい。国際的視点に立って、希少な干潟・湿地の保全基準・目標、守るべき基準を明らかにし、管理目標の作成や手つかずの干潟・湿地の保全や維持する手法の開発研究も進めて行きたい。

3 海域の油汚染に対する環境修復のためのバイオレメディエーション技術と生態系影響評価手法の開発に関する研究

研究の概要

本研究では、海岸に漂着した石油などの除去技術としてバイオレメディエーション技術に着目し、その有効性と安全性を評価する手法の開発を実施してきた。石油バイオレメディエーションの有効性に関しては、室内実験系、すなわち、石油とその分解菌だけからなる単純な閉鎖系における検討において、窒素・リン等の栄養塩添加による分解促進効果が確認されていた。しかし、実際に漂着油で汚染された現場は事情が大きく異なり、開放形であって、石油分解微生物以外の多種多様な生物が生息する。実海域である現場にこの手法を適用するためには、その有効性と影響評価について検討する必要がある、適用に先立ち、現場での小規模実証実験が必要であると考えられた。そのために、兵庫県の日本海沿岸部と種子島の太平洋沿岸部に実証実験場を設置し、流出油バイオレメディエーション技術の現場における有効性と安全性につき、その評価技術の開発を目標に研究を遂行した。

研究期間

平成 10～14 年度（5 年間）

研究成果

石油で汚染された砂礫と栄養塩供給のための肥料を混合したものを海岸部に埋設し、定期的にその一部分を採取して石油の分解過程を評価した。試験現場として、日本海沿岸部（兵庫県香住町）、および、太平洋海岸（種子島東岸部）の二箇所にて、小規模の石油バイオレメディエーション実験を行い、以下の知見を得た。

- アルカン類、ナフタレンなどの石油に含まれる典型的な飽和・芳香族炭化水素化合物については、その微生物分解に肥料添加による有意な促進効果が見られた。また、石油の被汚染担体からの物理的剥離も含めた石油除去量全体に関して、肥料非添加区と比較して肥料添加区では除去量が大幅に増加していた。
- 石油除去の収支を算出したところ、実質上の微生物による分解の寄与率が肥料添加区で約 2 割であり、剥離に伴う物理的除去が 4～6 割程度と考えられた。
- 硝酸、アンモニア、尿素といった異なる窒素形態を有する肥料の添加効果を比較したところ、無機態窒素（硝酸、アンモニア）よりは有機態窒素（尿素・架橋型尿素）の方が高い石油分解、および物理的剥離促進効果を有することが示された。
- 干満差の小さい日本海沿岸部より潮汐の大きい太平洋沿岸部の方が、石油の分解活性が高く、特にアルカン類に対してその差が顕著であった。
- 肥料添加による石油分解の活性化は微生物群集の多様性の低下（すなわち、特定菌の優占化）を伴うことが明らかになった。肥料添加実験中は多様性が低下したが、時間が経つにつれ復帰し、結果的には栄養塩添加区と非添加区とでは、微生物群集組成は相似したものとなった。
- 幾つかの代表的な炭化水素化合物酸化酵素の遺伝子量は、肥料添加により大幅に増加した。

- 肥料の添加による海産甲殻類 (端脚類)、珪藻に対する悪影響は見られなかった。

また底生生物に対する影響評価を検討するために行った室内実験の結果、流出油の影響は、毒性よりも生息空間の物理的閉塞の寄与が大きいこと、また、多毛類が存在する系では、存在しない系と比較して、系内の細菌数と重油成分の分解活性が高いことが判り、底生生物による石油浄化能への間接的な寄与が示された。

研究予算額

総額 136 百万円

評価結果（総合評価）

A : B : 11 C : 3 D : 1 E :

評価結果の概要

小規模ながら実海域における現場試験において、外部からの栄養塩付与による微生物による石油分解の促進効果が見られたことから、従来の室内実験にとどまらず、一定の進捗があったとの評価を受けた。しかし、同時に、実際の流出油漂着現場の浄化に今回得られた成果を適用するには至らないとの指摘を受けた。また、生態影響についても興味深い知見は得られているが、研究全体から見れば、もう少し踏み込んだ検討と解析、並びに考察がなされるべきであるという指摘を受けた。総じて、海域における流出油のバイオレメディエーション実用のためには、さらに一歩踏み込んだ説得力を有する成果が今後期待されるとの評を受けた。

対処方針

本研究では、流出油バイオレメディエーション技術そのものの開発ではなく、その有効性・安全性の評価手法の開発を目指して、主に現場試験の必要性を明示してきた。これまで得られた結果の解析に関しては、石油分解の反応定数を算出し、肥料添加による石油分解に要する時間短縮効果を評価できるようにする。実海域における栄養塩の拡散についても、モデル現場海域において、想定漂着油分解に必要な栄養塩を付与した場合の海水中の濃度と保持時間を見積もることで、ある程度の生態影響評価が可能であると思われる。

今後、不幸にして流出油事故が発生し、バイオレメディエーション技術を適用するためには、本研究で得られた知見を踏まえ、より大規模な現場試験の実施が必要であると思われる。しかし、現時点では、より大量の石油、肥料を添加する現場試験を実施することに関し、我が国で現場海域周辺各機関の理解を得ることは実質的に困難であると思われる。

4 環境ホルモンの分解処理要素技術に関する研究

研究の概要

本研究では、環境ホルモンと推測されている物質群の中でも広範な環境汚染を引き起こしているダイオキシン類、ポリ塩化ビフェニル（PCB）、ビスフェノール A（BPA）に着目して、これらの物質で汚染された水、底質、土壌を浄化するための物理的方法、化学的方法、生物的方法について、新しいシーズ発掘のための基礎的検討を行った。物理的方法としてはダイオキシン類を高濃度に含有する排水が環境中に排出された場合に活性炭吸着法で除去する技術の有効性を検証した。化学的方法としてはダイオキシン類を含有する水に超音波を照射してダイオキシン類を完全分解する技術の有用性の検証、高温の水蒸気態から亜臨界状態の水で土壌中のダイオキシン類を抽出して分解する技術の基礎的検討、底質中の PCB をイソプロパノールで抽出分離した後カリウムナトリウム合金で脱塩素化する技術開発を行った。生物的方法としてはベラドンナによる土壌中のダイオキシン類・PCB を吸収濃縮する技術の開発ならびにタバコ（植物）による土壌中 BPA の吸収・無害化する技術の開発を行った。

研究期間

平成 11～14 年度（4 年間）

研究成果の概要

- (1) ダイオキシン類で汚染された水に活性炭混和凝集剤を添加してダイオキシン類の除去効率を調べた結果、活性炭添加量と除去率の間に相関関係が成立した。汚染水 1 リットル当たり 1 mg 以上の活性炭を添加すれば、ダイオキシン類のほぼ全量を除去できることがわかった。
- (2) 200 キロヘルツの超音波をダイオキシンで汚染された水に照射したところ、照射時間とダイオキシンの分解量の間に直線関係が認められた。また、超音波の照射ではダイオキシン類の骨格が壊されることも明らかになった。
- (3) 水蒸気態から亜臨界状態の熱水をダイオキシン類で汚染された土壌に通してダイオキシン類を抽出する方法の実験条件（温度、圧力、時間）を詳細に検討した結果、最も重要な因子は温度で、温度を高くすると土壌中のダイオキシン類は速く減少していき、特にポリ塩化ジベンゾ-p-ジオキシン（PCDD）で顕著であることがわかった。また、抽出過程でダイオキシン類の一部が分解することも明らかとなった。高圧は土壌中のダイオキシン類を抽出するための必須条件ではなかったが、圧力が高いほど土壌中のダイオキシン類の減少は大きかった。抽出時間については、最初の 30 分間でダイオキシン類の大半が抽出され、30 分以降は抽出速度が遅くなった。八塩化ジベンゾ-p-ジオキシンを添加した土壌を使って抽出過程での分解機構を調べた結果、逐次的脱塩素化で低塩素数のダイオキシン類に変化していくことがわかった。
- (4) PCB で汚染された底質をイソプロパノールでソックスレー抽出（抽出率 99 %以上）して得られた PCB にアルゴン気流中でカリウムナトリウム合金（室温で液状）を作用させると、室温でも迅速かつほぼ定量的に脱塩素化されることがわかった。
- (5) ベラドンナ毛状根を使った実験では、3 週間で約 50 %のカネクロール 300 が除去された。次にベラド

ンナ実生を汚染土壌で1年間栽培した結果、PCBの26%とダイオキシン類の17%が除去された。

- (6) タバコ（植物）の培養細胞および実生を使って土壌中のBPAの浄化実験を行った結果、BPAは植物に吸収され、少なくとも4つの代謝産物に変化することがわかった。代謝産物はBPAにグルコースなどが結合した配糖体であった。これらの配糖体のエストロゲン活性はBPAより著しく低かった。またBPAを配糖体に代謝する酵素はタバコだけではなく、多くの植物体に存在することを明らかにした。この酵素活性をスクリーニングすることにより、土壌中のBPAを浄化できる植物を探すことが可能となった。

研究予算額

総額 23 百万円

評価結果（総合評価）

A：1 B：10 C：4 D： E：

評価結果の概要

シーズ発掘としての環境ホルモンの分解処理要素技術の基礎的研究においていくつかの興味ある結果を得ていると評価された。特に熱水による抽出分解と植物による汚染除去に関しては分解機構を詳細に解明し、今後の方向性を示し得たことなどが評価された。一方で、いくつかの研究テーマを平行して進めたために深く掘り下げた研究が少ないことや実用化への具体的な展開が不十分であるとも評価された。また、個別技術の開発はあり得ても、環境ホルモンの一般的な処理法という考え方が理解しにくいとの指摘もあった。

対処方針

本研究で得られた成果の中で、効率やコストの点から有望な技術に的をしぼり、実用化に向けた研究を民間との協力のもとで進めていきたい。物理的方法や化学的方法については、既存技術との比較検討が必要であり、また反応条件などの詳細な詰めも必要である。生物的方法は新しい技術であり、さらなる研究を重ねた上で、実用化を目指していきたい。評価で出された多くの意見は重点特別研究プロジェクト「環境ホルモン・ダイオキシン研究プロジェクト」の中で生かしていきたい。