

B-16 地球温暖化抑制のための CH₄、N₂O の対策技術開発と評価に関する研究

(11) CH₄、N₂O の重点対策ポテンシャルの評価に関する研究

研究代表者 国立環境研究所 地域環境研究グループ
開発途上国環境改善（水質）研究チーム 稲森悠平

環境庁国立環境研究所

地域環境研究グループ 開発途上国環境改善（水質）研究チーム 稲森悠平・水落元之

平成11年度予算額 23,056千円

〔要旨〕地球温暖化ガス（GHG）として重要な位置づけにある CH₄、N₂O の排出抑制対策技術の適用可能性に対する総合的な評価を目的として、各対策技術について削減効果や必要とされるコストなどの詳細情報を把握してとりまとめるとともに、適切な評価手法を検討した。最終的な評価手法としては、費用対効果分析をベースとすることで必要な検討を行った。ただし、対策技術の導入により CH₄、N₂O の排出削減効果以外にも、本来目的への影響やその他の波及効果が考えられ、総合的な評価の際にはこれらに対する評価も必要になると想定されるため、これらについても情報収集を行った。本研究では、評価手法を開発していく上で、これまでの知見の集積および効率性を考慮して、本プロジェクト研究で開発されつつある対策技術を対象とし、それぞれについて、対策技術の詳細、研究の目的、プロフィール（前提条件）、進捗度等の情報を可能な限り把握した。これらを基に現実的に設定可能な仮定を置くことにより、各対策技術について可能性のある削減率を算定し、当該対策技術が関連 GHG 排出量削減に対してどの程度のインパクトを持っているかについて、排出源カテゴリーごとに削減ポテンシャルの評価を行った。これらを基に費用対効果を検討したが、本来目的への影響やその他の波及効果を考慮しない場合の非常に大具雑りな試算の対策技術の費用対効果を試算したが、極めて初期的段階のものであり、現状として対策技術を適切に評価するには、更に十分な検証が必要とされた。

上記のように、本研究では対策技術を評価・解析する上での基盤的知見は得られたものの、費用対効果の精度をより高めるためには、対策技術ごとの個別のベースライン設定や、既存データをさらに効果的に活用するための方策を検討することが重要であり、そのための研究体制・情報収集体制の整備が求められる。また、対策技術の評価として最終的な目標は、本来目的への影響やその他の波及効果を考慮することが必要であり、可能な限り定量的に社会や産業に与えるメカニズムの整理とモデル化を検討する必要がある。これらのことを踏まえた上で更に検討を行うと同時に今後の方策についての提案を行った。

キーワード：CH₄、N₂O 抑制対策技術、費用対効果、削減効果、総合的な評価、本来目的への影響、波及効果

1. はじめに

CH₄、N₂O は CO₂ に次ぐ主要な温室効果ガスであり、COP3 でも今後の削減目標が設定され、その達成に向けた取り組みが緊急の課題となっている。しかし、CH₄、N₂O の排出源における温暖化ポテンシャルは十分に解明されていないのが現状である。このため、削減目標達成に向けたアクションプランを作成するために、CH₄、N₂O の排出源の中で重点的に対策を講ずる必要のある高いポテンシャルをもつ排出源を特定するとともに、排出抑制対策技術の検討を進めていかなければならない。しかし、CH₄、N₂O は各排出源における排出量推計精度が極めて低いのが現状であり、また、生活系、産業系排水処理における N₂O のように排出ポテンシャルは高いと考えられるものの科学的知見が不足し、排出量推計が成されていない排出源も存在する。

各排出源からの抑制対策技術については本研究プロジェクトの推進を通じて開発されつつあり、基礎的、基盤的知見の集積が成され、今後の実証化研究の推進が重要な課題となっている。ここで、効率的な実証研究の推進にはこれまで開発されつつある対策技術を現実的な応用性の観点から評価し、これらの重点化を図ることが必要不可欠である。評価手法としては種々の手法が考えられるが、適用可能性という点に注目すれば、対策技術選択の上で最も優先度の高いと考えられる費用対効果を生産性、処理効率といった本来目的および環境に対する波及効果を考慮した評価を最終的な目標とする必要がある。また、全地球レベルでの GHG 削減では人口比率の大きな、特に経済発展が続くアジア地域の開発途上国への対応が重要である。

本研究は上記の点を鑑み、我が国のみならずアジア地域への開発途上国への展開を視野に入れた効率的な GHG 排出抑制アクションプラン作成に貢献し得る CH₄、N₂O 排出抑制対策技術の総合的評価手法と対策技術適応の最適化手法の開発を目標として、省際性に優れ、CH₄、N₂O の人為発生源をサブテーマとしてほぼカバーしている本プロジェクト研究の特徴を生かし、プロジェクトの成果として開発されつつある対策技術に関して技術の特徴および個々の技術において総合的評価実施に資する前提条件を整理し、生産性、処理効率等の本来目的への影響因子、費用対効果の算出の前提となる費用の発生因子等を検討した。

2. 方法

2. 1 対象とした CH₄、N₂O 排出抑制技術

本プロジェクトでは開発されつつある対策技術は基礎研究、ベンチスケール研究、パイロットスケール研究等の様々なレベルにあるが、本研究では今後の実証化研究の可能性がある以下に示す各分野の対策技術を対象に検討を行った。

(1) エネルギー分野

① 補助燃料ガスの燃焼装置への吹き込みによる部分高温化および燃料の前処理と 2 段燃焼法 (1A 燃料の燃焼：1A1 エネルギー産業部門：固定燃焼装置) < N₂O >

(2) 農業分野

① 水田における有機物管理 [バイオマスの除去] (4C 稲作) < CH₄ >

② 水稻品種選抜 (4C 稲作) < CH₄ >

③ 基肥の全層一様施肥から溝施肥への変更 (4D 農耕土壌) < N₂O >

④ 緩効性窒素肥料および硝化抑制剤入り肥料の投入 (4D 農耕土壌) < N₂O >

⑤ 乳牛の生産性の向上 (4A 家畜の腸内発酵) < CH₄ >

- ⑥肥育牛の生産性の向上 (4A 家畜の腸内発酵) < CH₄ >
- ⑦反芻家畜に与える飼料構成の改善 (4A 家畜の腸内発酵) < CH₄ >

(3) 廃棄物分野

- ①機械化バッチ式ごみ焼却プロセスの変更 (6C 廃棄物の焼却) < N₂O >
- ②生活排水処理プロセスの変更 (6B 下水処理) < N₂O >
- ③汚泥焼却炉の燃焼方法の変更 (6C 廃棄物の焼却) < N₂O >

2. 2 CH₄、N₂O 排出抑制技術評価の基本的な構成要素

対策技術の評価に関して重要なポイントととして以下の項目に留意し、検討を行った。

(1) 費用対効果を基本とした評価

本研究では、①費用対効果は個々の技術の評価する上で最も一般的な評価軸となり得る事、②行政施策的に見て対策技術の導入にあたり検討すべき項目の中で最も優先度が高い、③対策技術は多様であり、これらを統一的に評価するためには、コストのような基本的な指標を用いる必要があるなどの理由から対策技術の効果と対策技術の導入・運営に必要なコストとの関連、すなわち費用対効果の検討を基本とした評価を行うこととした。

(2) 本来目的の考慮

対策技術は CH₄、N₂O の排出削減を目的としているため、対策技術を実施することにより、CH₄、N₂O の排出が削減される。しかし、こうしたプラスの影響と同時に、対策技術の実施により農業分野での農作物の収量減、環境浄化事業における環境浄化効果の低下といった、本来目的としてマイナスの影響が出る場合がありうる。したがって、ここでは個々の対策技術について、こうした本来目的に対する影響の実態を定量的把握する上で検討すべき因子を検討、抽出した。

(3) 波及効果の考慮

対策技術は CH₄、N₂O の排出削減を目的としているため、対策技術を実施することにより、CH₄、N₂O の排出が削減される。しかし、こうしたプラスの影響と同時に、対策技術の実施により水資源への影響、労働力への影響といった自然環境や社会環境への間接的な波及効果が現れる場合がありうる。したがって、ここでは個々の対策技術について、こうした間接的な波及効果に対する影響の実態について可能な限り把握した。

(4) 評価方法の一般化

本調査での評価方法は、将来的に国内外を問わずさまざまな地域や環境のもとでも利用可能となることが望ましい。このため、評価方法を可能な限り一般化することを考慮し、検討を進めた。

2. 3 検討項目の抽出、収集および整理

対象とする対策技術は前述のとおり CH₄、N₂O の排出を抑制する効果のほか、本来目的への影響や、波及効果を及ぼす可能性があるが、その影響範囲は対策技術によって異なっていると考

られる事から、評価方法を検討するにあたっては、それぞれの対策技術に関して、研究の目的、プロフィール（前提条件）、進捗度等に関して検討し、それぞれの対策技術についての現状を把握した。これらの検討に必要なデータは文献調査および本研究プロジェクトの省際性を活用し、プロジェクトの研究集団へのアンケート調査および検討委員会での検討をベースとした。

2. 4 主たる検討項目

(1) 対策技術の詳細

(2) 研究の最終目的（国内への普及または、開発途上国への普及）および進捗度

(3) 研究のプロフィール（前提条件）

① 作業・管理必要量、物資（消耗品・設備）必要量の対策技術導入前後での変化

② 対策技術導入による効果・影響（温室効果ガス削減効果、本来目的への影響、その他物質循環に与える影響）

③ その他必要とされる事項

2. 5 費用対効果の検討および次年度以降の課題抽出

上記より得られた情報をもとに、各対策技術に対して費用対効果を算出する上での影響因子を抽出し、可能な限りの定量化を図る上で各対策技術の費用対効果の推計上必要な前提条件およびそれに連動する仮定を明らかにすることにより推計精度を検討した。

今回対象とした対策技術は、その進捗度がまちまちであったこともあり、費用対効果を算出するために必ずしも十分な情報を得ることができなかった。このため、今回算出した結果の精度をより高めるために、必要となるデータ項目の再整理を行った。

本来目的への影響や波及効果の及ぼす影響については、把握できた範囲で定量的・定性的なデータを示した。本来目的への影響や波及効果の及ぼす影響については、今後、便益評価として総合的な評価の中に組み込んでいくために、評価の対象となる項目整理および評価の方針について検討した。

3. 結果および考察

3. 1 費用対効果算定のための前提条件、設定ケースおよび影響因子の抽出

2. 1 で示した本研究で対象とした CH_4 、 N_2O 排出抑制対策技術について対策技術の概要および当該技術において費用対効果算定に資する前提条件、設定ケースおよび影響因子を抽出し以下に概要を示す。

(1) 補助燃料ガスの燃焼装置への吹き込みによる部分高温化および燃料の前処理と 2 段燃焼法

本法は固定燃焼装置において N_2O 排出割合の大きな流動床炉を対象としたものであり、補助燃料の吹き込みによる N_2O の分解および燃料の前処理と 2 段燃焼法を用いることで、 NO の発生を伴わない N_2O 排出量削減を行うものである。

研究結果に基づき、費用対効果算定に必要な設定ケースは補助燃料を $100\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ で吹き込み炉内高温化により N_2O 分解を行う場合、補助燃料を $200\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ で吹き込み炉内高温化により N_2O 分解を行う場合、燃料を低温で乾留処理を行い、さらに、補助燃料を $200\text{cm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ で吹き込み

みを行う場合と考えられ、比較対照として既往の運転操作条件である補助燃料の吹き込みを行わない場合を標準とする。必要とされる費用の大部分は吹き込みにより増加する燃料費であるが、補助燃料吹き込み量を実験値から実炉の場合へ変換する必要があり、排出係数の卓越する汚泥の場合は発熱量ベースで実験値に対して 0.43 となった。

(2) 水田における有機物管理

本法は刈り株や雑草バイオマス等の有機物管理から、 CH_4 の排出を削減するもので、刈り入れ後の水田に投入される有機物を減少させることで CH_4 排出を抑制する。

刈り株の重量は不明であることから、稲わらと刈り株がほぼ同じ組成であると見なし、水田からの CH_4 排出量は鋤き込まれたバイオマスの重量に比例するとの仮定し、刈り株の重量として約 $110\text{g}\cdot\text{m}^2$ という数値を算出しこれを用いた。刈り株に加え、刈取・脱穀後の稲わらを $600\text{g}\cdot\text{m}^2$ 鋤き込む場合が日本の慣行栽培体系に近いと考えられることから、これを標準ケースとし、刈り株のみ鋤込みを行う場合、刈り株を除去する場合を設定ケースとした。ここでは設備、消耗品、その他については、変化は生じない、もしくは計上できない程度と考えられ、ここでは労働量の変化に伴う費用を推計する。本技術で考慮すべき労働は、稲わらの追加作業、刈り株の除去作業、鋤込み、バイオマスの焼却作業であるが、労働量は、作業の種類が増減により不連続に変化すると考えるのが自然である。つまり、追加される稲わらの重量や、除去される刈り株の重量が変化したとしても、労働量に大きな変化はないと考えられた。

(3) 水稻品種選抜

本法は稲に関して茎容量、通気組織の容量の小さい品種を選抜することにより、 CH_4 の大気中への放出を削減する。

研究成果に基づき、水稻の育成期間を 120 日間、そのうち最初の 40 日間のコンダクタンスとして分けつ期の値を、続く 80 日間のコンダクタンスとして成熟期の値を用いて、水稻育成期間を通じてのコンダクタンスを仮定した。ここで労働量については変化は生じない、もしくは計上できない程度と考えられ、物材費のみを対象とした。また、本技術を適用した場合、物材費項目のうち、種苗費が全て購入となる他は、変化は生じないと考えられた。

(4) 基肥の全層一様施肥から溝施肥への変更

本法は根菜類栽培の基肥において、全面全層施肥から溝状の局所施肥に変更することにより、 N_2O の発生を削減する。

ここでは、これまで全面一様施肥を行っていたサイトで溝状施肥を行う場合、畝立てなどの作業が必要となるため、機械化が必要となり、トラクターの導入について検討する必要があるが、トラクターを所有する農家では労働費のみが、所有していない農家では農機具費のみが増加すると考えられ、農機具費については、減価償却費の約 25% が修繕費及び購入費として必要になると考えられた。ここで、尿素肥料を全層一様施肥する場合、尿素肥料を溝状に局所施肥する場合、被覆尿素肥料を溝状に局所施肥する場合のケースを設定し、このうち尿素肥料を全層一様施肥するケースを従来型とする。

(5) 緩効性窒素肥料および硝化抑制剤入り肥料の投入

本法は早春施肥時に慣行化成肥料、1～3 番草刈り取り時毎に緩効性窒素肥料もしくは硝化抑制剤入り肥料を施用することにより N_2O 排出を削減するものである。

ここでは、10a に肥料成分で $N : 20\text{kg}$ 、 $P_2O_5 : 20\text{kg}$ 、 $K_2O : 20\text{kg}$ を施用する事とし、緩効性窒素肥料 (31.0CDU 窒素)、硝化抑制剤入り肥料 (DCD : くみあい AM 尿素化成高度 45) および硝化抑制剤入り肥料 (AM : くみあい尿素入り硫化燐安ジシアン 555 号) を 10a に年間肥料成分で $N : 20\text{kg}$ 、 $P_2O_5 : 20$ 、 $K_2O : 20\text{kg}$ を投入した場合をそれぞれのケースとし設定し、慣行化成肥料 (化成肥料 : 尿素入り高度複合 777 号) で施肥を行う従来方法を標準とした。ここでの費用変化としては、投入する肥料の購入価格のみを考慮し、その他の物財費、労働費は変化しないものと考えられた。

(6) 乳牛の生産性の向上

本法は乳牛個体の生産性を高めて、飼養頭数を抑制することにより、生産量を一定程度高めながら CH_4 排出を低減するものであるが、乳牛個体の生産性を高めるためには、乳牛の改良が必要であり、乳牛の改良には遺伝的改良及び栄養管理技術が重要である。

年間の FCM 生産量は一定とし、乳牛の生産性の改善の結果、4%乳脂補正乳 (FCM) 量が $22\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ となった場合が日本の現在の FCM 1 日当たり生産量に近いことから、これを標準とし、 $24\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ となった場合、 $26\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ となった場合をケース設定する。また、一農家当たりの飼養頭数を日本の標準的な 60 頭と仮定する。ここでは費用変化として、飼養頭数の減少により、投入する物財費および労働費の変化を考慮する必要がある、削減される費用は、「敷料費」「獣医費および医薬品費」「乳牛償却費」「生産管理費」「労働費」であり、年間 FCM 生産量を同一と仮定していることから養分要求量は大きく変化しないことから「飼料費」は変化しないものと考えられた。

(7) 肥育牛の生産性の向上

本法は肥育牛の生産性の向上と濃厚飼料多給 (粗飼料の給与割合を下げる) により CH_4 排出量の低減を図るものである。

ここでは肥育牛 (黒毛和種去勢牛) の 1 日平均増体量が現在の標準値である $0.65\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ の場合、生産性の改善の結果、1 日平均増体量が $0.75\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ となった場合、 $0.85\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ となった場合をケース設定する。ここで、本法における費用対効果の算定には、肥育期間の短縮による肉質の変化はない、畜産農家では、毎年春に肥育牛を購入し飼育を行う、肥育牛が目標体重に達すると同時に販売されるの前提条件の設定が必要であった。費用変化として、飼養日数の減少により、投入する物財費および労働費の変化を考慮し、当該年に飼育する肥育牛ののべ頭数の減少により削減される費用は、「敷料費」「光熱水料及び動力費」「その他諸材料費」「獣医師料および医薬品費」「生産管理費」「労働費」であり、肥育牛の生産性の向上に伴い TDN (可消化炭水化物) 必要量が変化することにより、TDN 年間必要量が変化し、TDN 必要量の変化割合に比例して飼料費が変化するものと考えられた。

(8) 反芻家畜に与える飼料構成の改善

本法は給与飼料の改善により、反芻家畜からの CH₄ 発生量を抑制するものである。脂肪質飼料の多給を行い、FCM 量を向上させるとともに GHG を削減する場合および粗飼料中の TDN（可消化炭水化物）量を 5% 増加させ、FCM 量を向上させるとともに GHG を削減する場合が考えられた。ここでは給与飼料の改善に伴う費用の増加と FCM の向上による生乳販売による収入増加の 2 つが変化する費用であり、その他の要因については変化は起こらないものと考えられた。

(9) 機械化バッチ式ごみ焼却プロセスの変更

本法はごみ焼却施設において、焼却方法を「埋火」（炉内にごみを残留させて種火を残す）から「24 時間連続運転」に変更することにより CH₄ 発生を抑制する。

ここで、労働については、昼間勤務（日あたり 8 時間）から 24 時間交替制勤務（8 時間ごとの 3 交替制）に変更する必要があるが、24 時間連続運転により日あたりの焼却量も増加するため、焼却量あたりの労働費は変化しないものと考えられた。また、運転時間の延長により日あたりの電力費、補助燃料費、薬品費、水道費、メンテナンス費が増加するが、焼却量あたりの変化はないものと考えられた。設備面では、24 時間運転に対応するために運転管理システムの更新、貯留ピットの改造など、施設の改造が必要になる場合も想定され、施設により推定する必要性が明らかになった。

(10) 生活排水処理プロセスの変更

本法は排水処理プロセスを従来の好気単独処理の BOD 除去型から嫌気処理と好気処理を組み合わせた富栄養化の原因となる窒素、リンの除去が可能な高度処理化を行うことにより、N₂O の排出を抑制するものであり、水域の富栄養化抑制と GHG 抑制対策を両立させるものである。

ここでは生活排水処理施設の処理規模別に検討を行う必要があり、プロセスの変更による建設費あるいは製造費の増加が費用変化として考えられ、維持管理上の「薬品費」、「電力費」の増加を把握する必要があるが、「労務費」についてはプロセス変更による大きな変化は無いものと考えられた。しかし、第 5 次総量規制により窒素、リンの総量規制が実施される状況となっていることから、高度処理化が排水処理プロセスとして必要不可欠な条件であるとする、ここにおける GHG の対策は単に運転操作条件の適正化ということとなり、抑制対策技術の実施による費用増加は考慮されない場合も想定し得ると考えられた。

(11) 汚泥焼却炉の燃焼方法の変更

本法は公共下水道における汚泥焼却炉の燃焼温度を定格運転より 50℃ 上昇させることにより、N₂O 発生量を抑制する。

ここでは既存の焼却炉の運転条件を変更する事から、「労務費」は変化しないものと考えられた。しかし、「電力費」、「補修費」、「薬品費」、「補助燃料費」の増加が考えられる。このうち、下水汚泥焼却プロセスにおける薬品は主として排ガス処理において二酸化硫黄などの酸性ガスの洗浄除去に用いられるアルカリ剤であり、50℃ の上昇での酸性ガスの増加は軽微と予想され、薬品費の増加も軽微なものと考えられた。ここで、費用増加の主となるものは焼却温度の増加に伴う補助燃料費と炉壁を構成する耐火煉瓦の劣化の促進による補修頻度の増加によるものである。電力費については燃焼温度の増加により、送気量の増加が見込まれるが、一般的な空気比か

ら考えてここでの費用増加も軽微であると考えられた。

3. 2 対策技術の本来目的への影響および波及効果

対策技術を実施する上で、それぞれの排出源においては生産性、あるいは処理効率といった本来目的が存在することから、対策技術のこれら本来目的への影響を把握する必要がある。また、対策技術を実施する上で、本来目的への影響のみならず、環境への影響などのプラス面、マイナス面を把握する必要がある。以下に今回対象とした各対策技術の本来目的への影響および波及効果の概要を示す。

(1) 補助燃料ガスの燃焼装置への吹き込みによる部分高温化および燃料の前処理と2段燃焼法

本技術の場合、本来目的に当たるものは燃焼率である。補助燃料の吹き込み及び燃料の前処理による燃焼率への影響はないと考えられる。すなわち、本技術は本来目的にほとんど悪影響を与えないといえる。また、NO 増加による大気汚染への影響が波及効果として考えられるが、NO の排出抑制が当初より考慮された技術であるために問題はない。

(2) 水田における有機物管理

本技術の場合、本来目的に当たるものは稲の収量である。短期的には、バイオマスの除去と収量には関係がないと仮定することができる。また、バイオマスの鋤込み量が減少した場合、長期的には地力が低下するので収穫高あるいは品質に悪影響を及ぼす。この観点からは、本技術に変わる有機物管理のオプションとして、堆肥化、水稲耕作前の有機物の酸化分解促進、が挙げられる。

(3) 水稲品種選抜

本技術の場合、本来目的に当たるものは稲の収量である。本技術は適用に際して、収量に悪影響を与えないものもしくは収量の増大が期待できる品種を選ぶことが出来るので、収量への悪影響は出ないと仮定する事が出来る。また本技術は、地力の低下や他の環境問題等へは悪影響を与えないと考えられるものの、水稲品種に関する消費者の嗜好等を考慮する必要があり、単に収量だけの検討では技術の適応に関しては不十分である。

(4) 基肥の全層一様施肥から溝施肥への変更

本技術の場合、本来目的にあたるものは根菜類の収量である。ハクサイを用いた試算ではいずれのケースでも増収が見込まれた。本手法の場合トラクターの使用が前提であり、既にトラクターを使用している農家での適用のみを検討する限り、波及効果は特にないと考えられるものの、現在トラクターを使用していない農家で適用する場合には、農家規模において機械化への効率が問題となる。

(5) 緩効性窒素肥料および硝化抑制剤入り肥料の投入

本技術の場合は、本来目的は草地における牧草収穫であり、想定したいずれのケースでも標準ケースと比較して牧草収穫量に大きな差異がみられないことから、本技術は本来目的にほとんど

影響を与えないといえる。

(6) 乳牛の生産性の向上

本技術の場合、本来目的に当たるものは乳牛の生産性である。FCM 生産量が一定との前提条件の下で本技術は、本来目的と GHG 削減の両方を達成するものである。また、本技術は本来目的である FCM 生産量と GHG 削減効果が比例関係にあるため、本技術を推進するほど、費用削減効果と GHG 削減効果が大きくなる。FCM 生産量の改善は最大で $30\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ 程度であるため、この水準まで FCM 生産量を改善することで本来目的と GHG 削減効果はともに最大の成果を得ることができる。

(7) 肥育牛の生産性の向上

本技術の場合、本来目的に当たるものは肥育牛の生産性である。本技術は本来目的である日増体量の増加による肥育牛の生産性の向上と GHG 削減の両方を達成するものである。また、本技術は本来目的である日増体量と GHG 削減効果が正比例の関係にあるため、本技術を推進するほど、費用削減効果と GHG 削減効果が大きくなる。日増体量の改善は最大で $1.2\text{kg}\cdot\text{day}^{-1}$ 程度であるため、この水準まで日増体量を改善することで本来目的と GHG 削減効果はともに最大の成果を得ることができる。

(8) 反芻家畜に与える飼料構成の改善

給与飼料の改善に伴う費用変化は、給与飼料の改善に伴う増加費用を、生乳販売による収入増加がこれを上回る。給与飼料の改善と FCM の向上は正比例の関係にあるが、場合によっては脂肪質飼料を多給すると繁殖に悪影響があると考えられるため、脂肪質飼料添加の適正な割合を明らかにする必要がある。また、牧草の栄養価が高い時期に収穫すると収量が低下することになり、収量の低下につながるため注意が必要である。また、本技術は本来目的である FCM 生産量と GHG 削減効果が比例関係にあることから適正な投入量等を明らかにする必要がある。

(9) 機械化バッチ式ごみ焼却プロセスの変更

「埋火」から「24 時間連続運転」への変更により温度が低下する時間帯がなくなるため、焼却効率（時間あたり焼却量）は向上すると考えられる。これは、対策技術の適用により本来目的においてもメリットが得られる Win-Win の関係にある。また、焼却炉の 24 時間連続運転により、ダイオキシン排出量の減少が期待される。

(10) 生活排水処理プロセスの変更

本技術の本来目的は排水処理の効率化であるが、技術の適用により富栄養化対策技術としての窒素、リン対策と GHG 抑制対策が両立することが可能である。この関係は生物処理の原理から見て処理規模に影響され無い事からも大きなメリットがある。したがって、本来目的である処理効率の内、窒素、リン対策は緊急を有していることから、GHG 対策としての費用投入が無いものと評価することも可能である。更に、排水処理プロセスからの N_2O の排出は運転操作条件と密接な関連があり、特に処理効率が悪化した場合に排出量の増加が見られることから、今後、排

出される N_2O を指標とした本来目的である窒素、リン除去の効率化のための運転管理手法が波及効果として開発されることが期待される。

(11) 汚泥焼却炉の燃焼方法の変更

本技術の場合、本来目的に当たるものは下水汚泥の焼却である。設計温度より高温で運転することにより、焼却能力が数%低下するが、焼却施設は通常、年間数日分の余裕をもって運転されており、余裕日をもって焼却能力の低下分をカバーすることは十分可能である。このため、本来目的に対する影響はないものと考えられる。また、この範囲の温度上昇では NO 排出の増加は軽微であり、大気への影響は無いものと考えられる。しかし、温度上昇によりダイオキシンの生成、排出が押さえられることとなり、本技術の大きな波及効果と考えることが出来る。

3. 3 評価手法の検討課題

3. 3. 1 費用対効果分析に必要なデータと解析方向

費用対効果分析のための各対策技術の前提条件等を整理したが、今後の解析では以下の点に留意していく必要がある。

(1) 評価に必要な項目の整理

以下に示した各項目に関して、各技術を適用・運用する期間を設定した上で、対照プロットやベンチマークなどのベースラインとの比較における追加的な費用やそこから得られる追加的な効果に関する情報を得ることが必要となる。

I 費用

① 物件費

- ・耐久財にかかる費用（インフラ構築、設備購入など）
- ・消耗品にかかる費用（備品、メンテナンス、エネルギー・水利など）

② 人件費

- ・既存の種類の労働量変化にかかる人件費
- ・新規に必要な労働量変化にかかる人件費

II 効果

- ① GHG 排出削減効果：対象となるシステムにかかわる CH_4 、 N_2O 、 CO_2 の変化量
- ② システムの本来目的への影響：量に関する影響（農作物の収穫量、廃棄物処理量など）

(2) 必要とされる評価手順

今後のより精緻化された分析では、下記に示したように、まず対策技術の適用にあたっての前提条件を今回の検討をベースとしてより綿密に整理し、次いで必要なデータの整理と調整を行う。また、分析の重点をマクロ推計に置く場合は、個別のケースを積算した結果が全国の排出実態と整合するよう調整を行う必要がある。

I 前提条件の整理

①プロジェクト設計の確定

・管理の変更か製品の改良か、国内・国外のどちらに主眼をおいているか、本来目的と排出削減について Win-Win が成立するか、に留意する。

②情報収集の必要な項目の確定：分析に用いる項目を確定する。

③ベースラインの確定：ベースラインとすべき標準ケースを確定する。

II データ整理

①各研究で実証されたデータ：研究成果と排出抑制との関係を確認する。

②資料から推計すべきデータ：既存の統計などから適切なプロセスを経て仮定する。

③ダミーデータ：不明データについてはダミーの値を用いる。

(3)課題と今後の対応方針

本研究では個別の対策技術についてベースラインを仮設したが、改良の余地が大きい。また、個々の研究は独自の条件を前提とおり、類似研究のデータであっても分析にそのままでは利用できない場合がある。それ故、今後は各対策技術に関するベースラインの改良と、既存データを有効活用するための手法の開発が課題となる。

また、対策技術が海外への技術移転を対象としている場合には、下記に示した費用についても分析に加える必要が生じるため、これについても検討が必要となる。

①物件費：輸送コスト等

②人件費：人材育成・リクルートなどにかかる人件費

3. 3. 2 費用対効果分析への便益の組み入れ

対策技術をより現実に即した形で評価し、中核技術として普及を図るためには、費用対効果分析への便益の組み入れが必要となるが、組み入れのための検討課題の概要を示す。

(1)便益評価すべき項目の整理

対策技術の適用は、あるシステムのマテリアルバランスを、従来の平衡状態から新しい平衡状態へ遷移させることであり、GHG の排出量以外にも周囲になんらかの影響を残す。これを考慮するため、下記に示した各項目の効果について便益評価を行う必要がある。

①システムの本来目的への影響：質的な影響（農作物の品質等）

②その他の波及効果

・産業を除く社会への影響（インフラの供与する社会便益など）

・産業への影響（製品・労働市場への影響）

・温暖化以外の環境への影響（大気・水質・土壌汚染、自然破壊など）

(2)評価手法確立にむけた情報整理方針

今後、上記の便益評価を行うための手法を開発するにあたって、以下についての整理が必要となる。

①社会に影響を与える際のメカニズムの整理とモデル化

個々の技術がどのような過程で社会に影響を与えるのか整理し、定量化が可能となるようにモデル化する。どのようなプロジェクト設計が現実的かを検討すると同時に、この部分の検討を開始することが望ましい。特に、温暖化以外の環境への影響が社会への影響など様々な波及効果としてどのようにフィードバックされてくるのかについて、明確にすることが重要である。

②各項目の定量化

社会や産業への影響については、経済効果として評価することが考えられるが、環境への影響（温暖化を除く）については、①でモデル化されたフィードバックを通じ、経済効果として評価できる部分と、そうでない部分に分かれると考えられる。

今後の分析においては前者を優先し、社会や産業への影響の評価に折り込んで経済効果として定量化を行うことを目標とすべきである。

4. まとめ

本研究では人為的発生が考えられる各分野における CH₄、N₂O 排出抑制対策技術の費用対効果分析を行う上での基盤的な検討を行ったが、費用対効果分析において各対策技術に関するベースラインの設定・改良や既存データを有効活用するための手法の開発が必要であること、費用対効果分析への便益の組み入れにおいて社会に影響を与える際のメカニズムの整理・モデル化や各項目の定量化が重要であることなどの知見を得た。

今後はこれらの検討結果を踏まえて、(1)既存研究データを効果的に収集・活用するための手法の開発、およびそれらにむけたデータの整理(IPCC Inventory Task Force との連携等)、(2)対策技術が社会に与える便益（本来目的への影響、波及効果等）の評価手法の開発を中心にして検討する必要がある。しかし、対策技術評価に対する最も大きな影響因子は各排出源における CH₄、N₂O の推計精度であり、このようなインベントリーの精緻化を図る研究の推進は勿論のこと、推計精度そのものの評価手法を確立していく必要がある。

5. 参考文献

- (1) 農水省：平成 10 年産 米及び麦類の生産費（2000）
- (2) 環境庁：地球温暖化対策の推進に関する法律に基づく地方公共団体の事務及び事業に係る温室効果ガス総排出量算定方法ガイドライン（1999）
- (3) 農水省：畜産統計 I 畜産基本調査結果（平成 11 年 2 月 1 日調査）（1999）
- (4) 農水省：平成 10 年 畜産物生産費（1999）
- (5) 農水省：家畜改良増殖目標（1996）
- (6) 農水省：農林水産統計速報 11-223（構造-55）平成 11 年 農業構造動態調査（基本構造）結果概要 -農家調査・農業法人等調査-（2000）
- (7) 日本農業年鑑刊行会：日本農業年鑑 1997 年版（1997）
- (8) 農水省：農林水産統計速報 12-12（経営-2）平成 11 年 12 月 農村物価指数（2000）

- (9) 農水省：平成5年産 野菜生産費 (1995)
- (10) 農水省：平成9年青果物卸売市場調査報告 (1999)
- (11) 大阪府：固定発生源からの温室効果ガス排出係数調査 (1996)
- (12) 厚生省：廃棄物処理施設整備費国庫補助金交付要綱の取り扱いについて (案) (1998)
- (13) 資源エネルギー庁：総合エネルギー統計 (2000)
- (14) (社) 畜産技術協会：畜産における温室効果ガスの発生制御 第四集 (1999)
- (15) 厚生省：厚生白書 平成11年版 (1999)