

## IR-2 温室効果ガスインベントリーシステム構築の方法論に関する研究

### (2) 産業部門からの温室効果ガス排出の精度管理

エコフロンティアフェロー研究員

李 玉娥・董 紅敏・Thy SUM

独立行政法人国立環境研究所

地球環境研究センター

井上 元・清水英幸

(研究協力機関)

財団法人地球環境戦略研究機関 気候政策プロジェクト 西岡秀三・平石尹彦・田辺清人

平成11～13年度合計予算額	5,546千円
(平成13年度予算額)	1,968千円)

[要旨] 本研究は、産業部門（農業を含む）からの温室効果ガス（GHG）排出量推計の精度を高めることを目的として、国際協力研究（エコフロンティアフェローシップ・プログラム）の研究員が、自国のGHGインベントリーを対象としてケーススタディを行ったものである。

平成11年度は、中華人民共和国における家畜の糞尿管理システムからのメタンと亜酸化窒素の排出量を推計し、また感度分析により推計精度に重要な影響をもつファクターを調べた。その結果、動物別には非乳用牛・家禽・豚の3種類に、管理方法別にはスラリー・牧草地・畜舎の3種類に、また同国内の4地域に焦点をあてて、糞尿管理システムの使用比率、窒素排泄、飼料摂取量及び消化率について、詳細なデータの収集・調査を優先的に行うべきだとの提言をまとめた。

平成12年度は、中華人民共和国における家畜の消化管内発酵からのメタン排出量を、IPCCの提示する4つの異なった方法に従って推計した。その結果、処理糞を飼料とするプロジェクトの拡大によって黄牛からのメタン排出量が減少したことが明らかとなり、またその減少効果を正しく評価するためIPCC良好手法指針の示す推計方法を採用すべきであることもわかった。今後必要なこととして、家畜生産システムの経年変化を踏まえて排出係数を修正すること、各種粗飼料のメタン転換率に関する実験研究を行うことなどを提言した。

平成13年度は、カンボジアのGHGインベントリーにIPCC良好手法指針の主要排出源分析を適用して、家畜の消化管内発酵及び家畜の糞尿管理からのメタン排出量推計の改善が、同国では特に優先されるべきだということを明らかにした。さらに、非搾乳牛、水牛及び豚に対して第2階層（Tier2）方法を用いた推計ができるように排出係数の開発を試みた。結果的には、第1階層方法と第2階層方法の推計値に特に大きな違いは現れなかったが、2つの主要排出源に対してIPCC良好手法指針を適用したことにより推計の信頼性は高まったと言える。

[キーワード] メタン、亜酸化窒素、家畜糞尿管理システム、消化管内発酵、  
IPCC良好手法指針

#### 1. はじめに

国連気候変動枠組条約は、附属書Iに含まれない締約国（非附属書I締約国）に対しても、国別報告書を条約事務局を通じて締約国会議（COP）に提出するよう促しており、その中にGH

Gインベントリーを含めることとしている。COP2では、非附属書I締約国のGHGインベントリーについて、排出係数と活動量データの質の向上を狙いとして、各国が互いの経験を交換するためのフォーラム作りを促す決議がなされた。これを受けて、1996年9月にキューバ・ハバナでワークショップが開催され、アフリカ、アジア、ラテンアメリカといった地域ごとに、排出係数や活動量データの質の向上のための課題が検討された。このように、GHGインベントリーの質の向上に対するニーズは、附属書I締約国のみならず非附属書I締約国でも高まっている。

また、1999年度よりIPCC国別温室効果ガスインベントリープログラムの技術支援ユニットが日本に置かれることとなり、ホスト国としてインベントリー作成、改定について特に日本の関与が求められることになった。

## 2. 研究目的

本研究は、アジアの特定の国におけるGHGインベントリーのケーススタディを通じて産業部門（農業を含む）からの温室効果ガス（GHG）排出量推計の精度を高めることを目的として行ったものである。具体的には、産業部門の一つとして農業に注目し、中華人民共和国における家畜糞尿管理システムからのメタンおよび亜酸化窒素排出量、中華人民共和国における家畜の消化管内発酵によるメタン排出量、カンボジアにおける家畜の消化管内発酵及び糞尿管理システムからのメタン排出量に注目して、排出量推計精度の改善を試みるとともに今後の課題を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究方法

### （1）中華人民共和国の家畜糞尿管理システムからのGHG排出に関する研究の方法

まず、IPCCガイドラインが示す第2階層方法とそのデータに、次の点で修正を加えて、中華人民共和国における家畜糞尿管理システムからのメタンと亜酸化窒素の排出量を推計した。

- ・動物の分類方法と、豚、非乳用牛、乳用牛、水牛、羊、山羊についての飼料摂取量
- ・豚の糞尿管理システム
- ・牛、豚、羊、馬からの窒素排泄
- ・メタン転換係数

次に、メタンおよび亜酸化窒素の排出量を、動物種類別、糞尿管理システム別、地域別に分析し、それぞれについて主要なものを特定した。

さらに、推計に及ぼす影響を知るための感度分析をいろいろなファクターについて行い、今後の推計改善のために、データ収集・調査や測定実験の実施が重要なものを特定した。

### （2）中華人民共和国の家畜の消化管内発酵からのGHG排出に関する研究の方法

家畜の消化管内発酵からのメタン排出について、IPCCの示す複数の互いに異なる推計方法を比較し、さらに1990年から1998年までの中華人民共和国における排出量推計を行った。使用データは、年間の飼育頭数については中華人民共和国農業年鑑から引用した。1990年から1997年の異なる飼料システムごとの頭数構成を計算するために、1998年に各省において特定のシステムで管理される各家畜グループの頭数の割合を中華人民共和国家畜年間から引用し、これに各省の年間飼育頭数をかけ、その後国内の総計を算出した。平均的な生体重、体重増加、妊娠期間、

および泌乳期間などの家畜生産性係数は、出版データ (Chen、1999 年)<sup>1)</sup>と中華人民共和国家畜産業国立研究所の専門家に問い合わせた結果を基にしている。Guo (1996 年)<sup>2)</sup>の提案する飼料特性を使用した。

(3) カンボジアの家畜の消化管内発酵及び糞尿管理システムからのGHG排出に関する研究の方法  
カンボジアのテクニカル・チームが国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) に基づく第1回通報のために作成したGHGインベントリーを出発点として、

- ・家畜からのメタン排出量推計の改善を目指してIPCC良好手法指針 (第2階層方法) を適用するための必要データ・情報を収集する。(国家統計、周辺国の研究データ、周辺国研究者へのアンケート)
- ・カンボジアにおける家畜排出源からのGHG排出量を家畜種別に推計する。
- ・推計結果やデータ収集時の経験をもとに、カンボジアのGHGインベントリー改善のためのさらなる推奨案を構築する。

#### 4. 結果・考察

(1) 中華人民共和国の家畜糞尿管理システムからのGHG排出に関する研究

##### ① 排出量の推計結果とその内訳

排出量推計の結果、中華人民共和国における家畜糞尿管理システムからのメタン排出量は、1990年に617.5 Gg、1996年には788.1 Ggであり、この間28%増加していたことが示された(表1)。また、亜酸化窒素排出量については、1990年に183.8 Gg、1996年に246.3 Ggであり、この間34%増加していたことが示された(表2)。

動物別に見ると、豚がメタン排出に最も大きく寄与しており(表1)、管理方法別に見るとスラリー糞尿管理システムが最も大きく寄与していることが判明した(図1)。また、亜酸化窒素の排出については、非乳用牛、家禽(鶏等)および豚が主な排出源となっており(表2)、管理方法別には、牧草地と畜舎での糞尿管理システムが大きく寄与していることが判明した(図2)。

表1 動物種類別の家畜糞尿管理システムからのメタン排出量 (単位: Gg CH<sub>4</sub>)

年	非乳用牛	乳用牛	水牛	羊	山羊	豚	馬	ラバ	駱駝	家禽	合計
1990	51.4	16.4	26.8	10.6	9.5	442.7	12.0	10.2	0.6	37.4	617.5
1991	52.1	17.8	27.1	10.4	9.3	451.3	11.9	10.2	0.6	40.7	631.4
1992	53.8	18.1	27.4	10.2	9.5	470.8	11.8	10.1	0.5	51.3	663.5
1993	56.2	21.1	27.7	10.7	10.4	478.2	11.8	10.0	0.5	50.9	677.5
1994	59.4	23.1	28.2	10.9	12.2	497.2	11.9	10.1	0.5	55.9	709.5
1995	63.4	25.8	29.0	11.7	14.9	524.8	12.0	9.9	0.4	61.4	753.2
1996	67.9	27.0	30.0	12.3	16.9	542.2	12.1	9.8	0.5	69.5	788.1
1996年におけるシェア (%)	9	3	4	2	2	69	2	1	0	9	
1990-1996年の増加率 (%)	32	64	12	16	79	22	1	-4	-23	86	28
増加率への寄与率 (%)	10	6	2	1	4	58	0	0	0	19	

表2 動物種類別の家畜糞尿管理システムからの亜酸化窒素排出量 (単位: Gg N<sub>2</sub>O)

年	非乳用牛	乳用牛	水牛	羊	山羊	豚	馬	ラバ	駱駝	家禽	合計
1990	63.6	0.5	16.7	11.3	9.6	45.8	7.0	11.5	0.3	17.5	183.8
1991	64.5	0.5	16.9	11.1	9.5	46.7	7.0	11.6	0.3	19.2	187.3
1992	66.9	0.5	17.1	10.9	9.7	48.5	6.9	11.4	0.3	23.1	195.3
1993	70.2	0.6	17.4	11.1	10.6	49.7	6.9	11.3	0.3	23.1	201.2
1994	74.9	0.7	17.6	11.7	12.2	52.5	6.9	11.4	0.2	26.9	215.0
1995	80.4	0.7	18.2	12.7	14.8	56.0	7.0	11.1	0.2	29.5	230.7
1996	86.2	0.8	18.8	13.2	16.9	58.0	7.0	11.1	0.2	33.9	246.3
1996年におけるシェア (%)	35	0	8	5	7	24	3	5	0	14	
1990-1996年の増加率 (%)	35	66	13	18	76	27	0	-3	-23	94	34
増加率への寄与率 (%)	36	1	3	3	12	20	0	-1	0	26	

図1 メタンの管理方法別シェア(1996年)

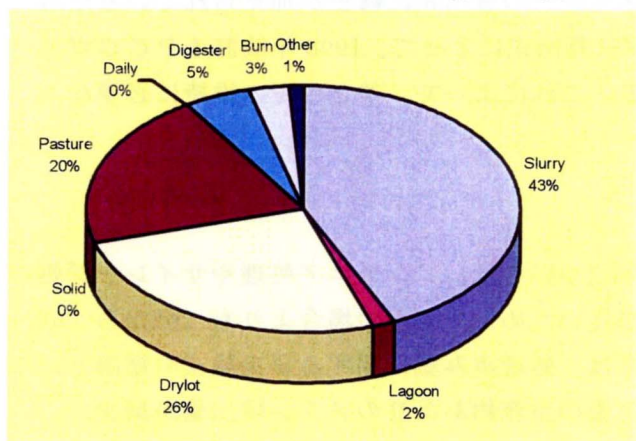
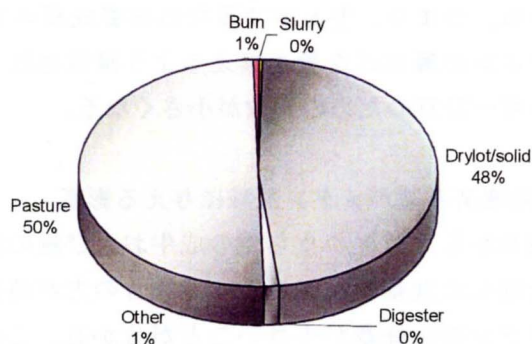


図2 亜酸化窒素の管理方法別シェア(1996年)



また、地域別には、Shandong、Sichuan、Heana および Hunan の各地方が、1990年から1996年にかけてGHGを最も多く排出していたことが判明した。さらに、感度分析の結果、推計に対し糞尿管理システムの使用実態(使用比率)に関するデータ(MS%)が最も重要な影響を及ぼすことを検証した。

## ② インベントリー改善のための方針

中華人民共和国のGHGインベントリー(家畜糞尿管理の部分)を改善するためには、まず、動物別には非乳用牛・家禽・豚(家畜糞尿管理システムからのGHG排出量全体に対し、それぞれ32%、29%、13%を占める)の3種類に、また、管理方法別には、スラリー・牧草地・畜舎の3種類に、そして地域別には前述の4地域に焦点をあてて、以下の活動を優先的に行うべきと考えられる。

- ・地域ごと、動物種類ごとの、糞尿管理システムの使用状況に関する詳細なデータの収集、調査

- ・動物種類ごとの、窒素排泄に関する詳細なデータの収集、調査
- ・地域ごと、動物種類ごとの、飼料摂取量および消化率についての詳細なデータの収集、調査
- ・動物種類ごと、管理システムごとの、メタンと亜酸化窒素の排出係数測定実験の実施
- ・重要なファクター(動物種類ごとのメタン生成ポテンシャル、管理システムごとのメタン転換係数、気温、糞尿の温度と含水率、糞尿の中の分解性炭素および全炭素の含有量、同じく分解性窒素と全窒素の含有量など)についての詳細なデータ収集のための測定実験の実施

## (2) 中華人民共和国の家畜の消化管内発酵からのGHG排出に関する研究

### ① 異なるIPCC手法に基づく排出係数の比較

IPCCによるさまざまな手法を用いて推計した結果、排出係数の値にはIPCC手法によってばらつくことがわかった(表3)。農業地域における同一の特性を持つ家畜についての推計の場合、乳用牛、黄牛、および水牛を含む牛に関しては、IPCC良好手法指針<sup>3)</sup>を用いたメタン排出係数の推計の方が、1996年改訂IPCCガイドライン<sup>4)</sup>の第2階層方法を用いた場合よりも若干大きい。しかし、羊と山羊に関しては、良好手法指針を用いたメタン排出係数の推計は1996年改訂IPCC第2階層方法を用いた場合よりも小さい。牛と羊で結果が異なるのは、IPCC良好手法指針で推奨されている維持と成長に必要な総エネルギーの算出式に修正が加えられているためである。つまり、牛と羊で異なる必要成長エネルギー算出式によって、1996年改訂IPCCガイドラインの算出式を置き換えるよう推奨されている。これによって、羊とヤギの維持に必要なエネルギー計算のための係数が小さくなる。

### ② 処理済み糞がメタン削減に与える影響

表3から、黄牛のうち雌の成牛および雄の肥育牛については、アンモニア処理やサイレージ処理を施した残留物を飼料とする場合の方が消化率が良いため、未処理の場合よりも26%から30%もメタン排出係数が小さいことが分かる。この結果は、処理済み糞に関する研究論文の結論とは異なっている。研究者は、処理済みの糞によって一定量の生産物あたりのメタン排出量が減少し、家畜1頭あたりのメタン排出係数が増加するとしている。しかし、乳用牛の飼料の消化率が高いため、処理済みの残留物を飼料とする乳用牛の方が、未処理の場合よりもメタン排出係数が大きい。排出量が増加するのは、重量増加のために飼料摂取量が増加するためである。したがって、中・高品質の飼料を乳用牛に与えるより先に、低品質の糞を処理して黄牛の成牛に与えることが最善である。処理済み糞に基づく良好な飼養手法によって飼料の消化性と家畜の生産性が向上し、それによって一定量の生産物あたりのメタン排出量と1頭あたりの排出係数が大きく減少する。処理済みの糞を飼料として一般的に使用している国のメタン排出インベントリーでは、メタン排出量の減少をあらかじめ考慮する必要がある。

表3 さまざまな手法を用いた家畜種別の排出係数の推計

飼養状況 家畜カテゴリー		メタン排出係数 (kg/頭/年)					
主要カテゴリー	サブカテゴリー	1996年改訂ガイドライン 階層1	1996年改訂ガイドライン 階層2	I P C C良好手法指針			
				農業地域		牧草地域	
				未処理	処理済み	未処理	処理済み
乳用牛	雌の成牛	56	77.9	79.3	79.3	71.7	該当なし
	若牛(1歳未満)		38.6	37.3	37.3		
	その他		51.6	53.1	57.2		
黄牛	雌の成牛	44	64.0	68.8	50.8	69.7	該当なし
	若牛(1歳未満)		32.1	33.0	27.7		
	その他		65.6	77.5	54.1		
水牛	雌の成牛	55	62.7	65.1	該当なし	65.1	該当なし
	若牛(1歳未満)		45.0	44.7			
	その他		66.3	69.9			
羊	雌の成牛	5	14.4	12.7	該当なし	8.6	該当なし
	若牛(1歳未満)		6.5	5.4			
	その他		9.2	8.2			
ヤギ	雌の成牛	5	9.3	8.1	該当なし	4.5	該当なし
	若牛(1歳未満)		4.1	3.6			
	その他		5.3	4.4			
豚	分類せず	1.0					
ラクダ	分類せず	46					
馬	分類せず	18					
ラバ、ロバ	分類せず	10					
家禽類	分類せず	評価なし					

③ 消化管内発酵からのメタン排出

消化管内発酵からのメタン排出の推計を表4にまとめた。1996年における消化管内発酵からのメタン排出の推計は、1996年改訂I P C Cガイドラインの第1階層、第2階層、およびI P C C良好手法指針に処理済み糞の効果を考慮したもの、考慮しないものの各方法によると、それぞれ(Tg CO<sub>2</sub> Eq.) 8613.5Gg、11039.3Gg、10533Gg、11469.4Ggであり、1990年と比べてそれぞれ30.9%、28.0%、26.5%、19.9%ずつ増加している。使用したI P C C手法によって排出や増加割合の推計値は異なるが、時間の経過によるメタン排出増加の大部分は黄牛、乳用牛、およびヤギの頭数が増加したことによる。

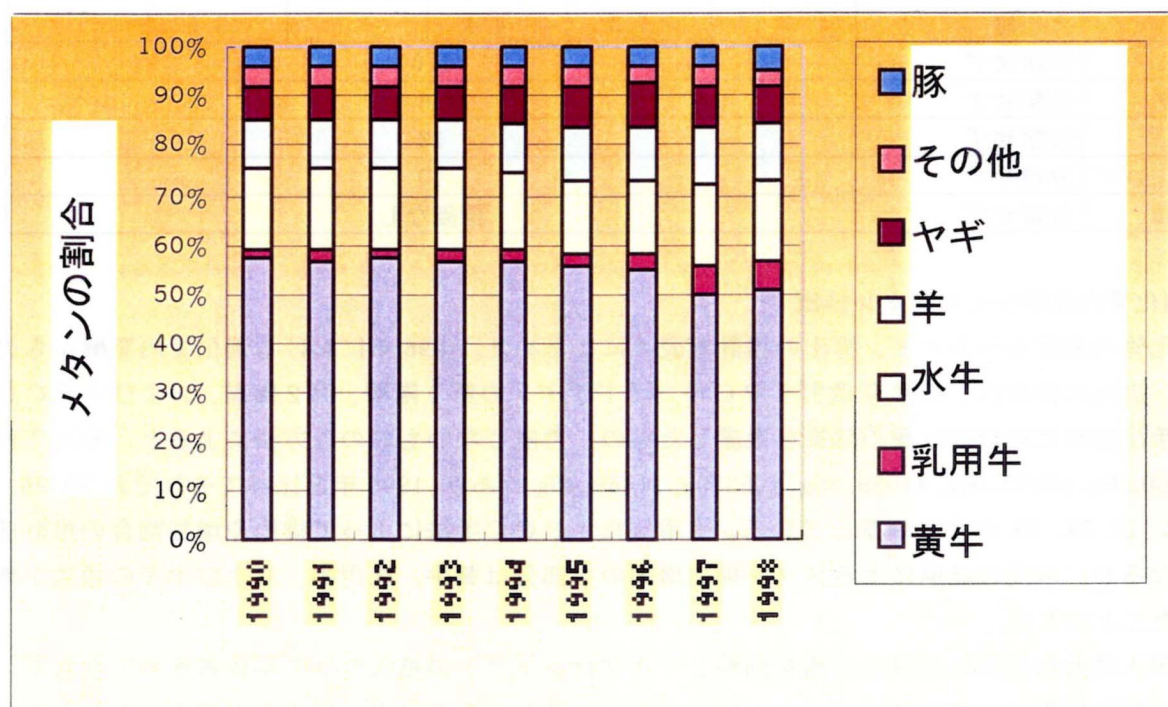
中華人民共和国は処理済みの糞を飼料とするプロジェクトの拡大で1987年依頼進めてきたが、上記の推計結果は、このプロジェクト拡大によって黄牛からのメタン排出量が減少したことを示している。削減量は1996年には935.7Gg/年、1998年には1253.5Gg/年であり、それぞれ黄牛からの総排出量の16.4%および26.7%にあたる。しかしながら、熟成管理、農業残留物の燃焼、および農耕地からの温室効果ガスの排出に対して処理済み糞が与える付随的な影響を考慮すると、温室効果ガス削減方針に処理済み糞の技術を広く取り入れる前に、システム全体についての分析を進めるべきである。



表4 中華人民共和国における消化管内発酵からのメタン排出 (Tg CO<sub>2</sub> Eq.)

IPCC 手法	1996年改訂 IPCC ガイドライン 第1階層方法	1996年改訂 IPCC ガイドライン 第2階層方法	2000年 IPCC 良好 手法指針、処理済 み糞の影響を考 慮せず	2000年 IPCC 良好 手法指針、処理済 み糞の影響を考 慮
1990年	138.2	181.2	190.4	184.6
1991年	139.6	182.6	192.0	184.3
1992年	142.8	186.8	197.0	187.2
1993年	149.0	194.6	204.7	192.8
1994年	157.9	204.3	213.8	200.2
1995年	169.8	218.5	227.3	210.9
1996年	180.9	231.8	240.9	221.2
1997年	157.0	201.0	208.2	185.5
1998年	166.1	211.5	219.9	193.6
1996年までの増加	30.9%	28.0%	26.5%	19.9%
1998年までの増加	20.2%	16.7%	15.5%	4.9%

図3 1990年から1998年の腸内発酵起源メタン排出量の家畜種別シェア



④ さまざまな家畜種からのメタン排出の比率

1990年から1998年にかけての家畜種別メタン排出量の推計結果を見ると。黄牛は、中華人民

共和国における消化管内発酵からのメタン排出にもっとも大きな影響を与えている。いくつかの削減方法による排出削減を考慮しても、黄牛からの排出は全体の 50%以上を占めている。水牛と羊は、中華人民共和国における消化管内発酵からのメタン排出源としてそれぞれ第 2、第 3 番目に位置する。水牛は、1990 年の家畜による総メタン排出のうち 15.6%、1998 年には 13.7%を占め、羊はそれぞれ 12.4%、11.5%を占める。乳用牛からの排出は消化管内発酵からの総排出量の約 2%から 5%であるが、乳用牛からのメタン排出は、1990 年と比べて 216.5%も増加している。中華人民共和国における乳製品の拡大を考慮すると、乳用牛からの排出は頭数の増加に伴って今後も増加すると考えられる。また、1990 年から 1998 年にかけての豚からのメタン排出は、国内のメタン排出の中で比較的安定した割合を保っている。豚からの排出は国内の総排出量の 4%から 4.5%を占める。豚は反芻家畜ではなく排出係数も非常に低いにも関わらず、そのメタン排出量は乳用牛のものよりも多い。

#### ⑤ 消化管内発酵からのメタン排出の推計における問題点

I P C C の G H G インベントリープログラムにおいて、消化管内発酵からのメタン排出インベントリーは不確実な点の多い難しい分野の 1 つである。中華人民共和国におけるメタン排出推計を不確実に行っている最大の要因は、家畜の特性に関するデータや中華人民共和国特有の家畜システムのメタン転換率についての情報不足である。

飼料摂取量と飼料消化率については不確実な点が多い。一般に、1 日あたりの平均的な飼料摂取量は不明であり、飼料摂取量は必要エネルギーの算出式によって推計される。通常、中華人民共和国では個々の農場世帯に基づく独特の家畜管理システムを採用しているため、飼料供給が一定の家畜必要エネルギーを満たしていない。そのため、飼料摂取の推計は過大評価されている可能性がある。さらに、中華人民共和国で採用されている 2 つの飼養方針がすべての飼養システムを代表しているわけではないため、飼料の消化率は場所や管理システムによって 20%から 30%程度変動する。

雄の成牛や雌の代替牛の頭数、フィードロット内の頭数はもちろん、肉用牛や多用途牛の頭数など、亜類型の動物の頭数についても不明な点がある。省をまたいで牛の群を移動させると、二重に勘定することによって頭数が不明になる可能性がある。

I P C C のデフォルト値（各国の状況を反映する独自のデータがない場合に、その代用として用いることを推奨されている値）によるとすべての家畜グループのメタン転換率が等しいが、国ごとに特有の係数は大きく異なるため、これについては今後の調査が必要である。利用できるデータが増えれば、研究が進むと思われる。

中華人民共和国における家畜管理の多様性と家畜生産性の急速な向上を考慮すると、時間が経過しても排出係数が修正されない場合は不確実性が高まる。

#### ⑥ 提言

消化管内発酵からのメタン排出インベントリーを改善するためには、以下の方法を実施することが必要である。

- ・各地域における家畜生産システムの経年変化を反映して、排出係数を修正する。
- ・推計データによると、黄牛の成牛については処理済みの残留物を飼料とする場合の方が消化率



が良いため、未処理の場合よりも26%から30%もメタン排出係数が小さい。インベントリー作成の際には、効率向上のための家畜生産システムの変更に伴ってメタン排出量が減少することを考慮する必要がある。

- ・環境緩和技術は、家畜や支援システムからの他の温室効果ガスの排出に影響を与えている可能性がある。固有の環境緩和システムや生産性向上方法は、全体的な温室効果ガスの量を定めて削減するという京都議定書の目的に照らして全体的に評価しなければならない。このシステムでは、消化管内発酵からのメタン、肥料からのメタン、農業残留物からの二酸化炭素、土壌炭素の隔離、および亜酸化窒素の排出を取り扱う。
- ・さまざまな飼養システムにおける飼料の組成や飼料品質データはもちろん、家畜頭数の構成や家畜生産性データを調査する。
- ・黄牛用に中華人民共和国独自の必要エネルギーシステムを立ち上げ、独自の管理システムを反映させる。
- ・黄牛、水牛などメタン排出に対する影響の大きな家畜について、メタン排出係数の現地実験を実施する。
- ・さまざまな粗飼料のメタン転換率の室内実験を実施する。
- ・中華人民共和国の統計誌で言及されている乳用牛は、4000-5000kg/泌乳期間という高い乳生産性を実現するために改良された品種のため、デフォルトの乳用牛の排出係数を56kg/頭/年から、60-70kg/頭/年に修正するよう勧める。
- ・豚のメタン排出量は反芻家畜に比べてはるかに少ないが、豚の飼育頭数が多い国では豚からのメタン排出にも留意する必要がある。

### (3) カンボジアの家畜の消化管内発酵及び糞尿管理システムからのGHG排出に関する研究

#### ① 消化管内発酵からのメタン排出

表5は、消化管内発酵からのメタンの排出係数について、1996年改訂IPCCガイドラインのデフォルト値とIPCC良好手法指針を用いて求めた値との差異を示している。IPCC良好手法指針の第2階層方法によれば、非妊娠メス牛の排出係数は、それぞれ、21%と16%であり、1996年改訂IPCCガイドラインのデフォルト値よりも低い。成牛オスと妊娠メス牛の排出係数は1996年改訂IPCCガイドラインのデフォルト値よりも5%高い。牛と同じく、未成熟水牛の排出係数は1996年改訂IPCCガイドラインのデフォルト値よりも約14%低い。成牛オスと成牛メスのそれは大幅に高い。排出係数の異なる理由は、家畜種によって生体重、飼料摂取状態、妊娠中のエネルギー消費、牛乳生産量、および日常労働エネルギーがそれぞれ異なるからである。生体重は、各小分類家畜種の生命維持に必要な純エネルギーの推計において重要な要素である。必要エネルギー（活動、労働、妊娠、体重増に必要なエネルギー）を計算するときは生命維持に必要な純エネルギーを考慮する。総エネルギーは、純エネルギーの推計値と各小分類家畜種の飼料特性（飼料消化）に基づいて推計する。総エネルギーは、基本的に排出係数の計算に用いられる。成牛の生体重が20kg(6.3%)増えれば、メタン排出係数は約4.7%増える。飼料消化率は、排出係数だけでなく家畜種からの排出量にも影響する要素である。一般的に、飼料消化率と排出係数とは正反対の関係にある。つまり、飼料消化率が高いときは、排出係数が低い。

表5 カンボジアにおける消化管内発酵からのメタン排出係数

家畜種	家畜種小分類	排出係数	
		1996年改訂IPCCガイド ライン 第1階層方法 (kg/頭/年)	IPCC良好手法指針 第2階層方法 (kg/頭/年)
非搾乳牛	成牛オス	44	46
	成牛メス		37
	成牛メス (出産)		46
	未成熟牛		38
水牛	成牛オス	55	77
	成牛メス		70
	成牛メス (出産)		70
	未成熟牛		48
豚	なし	1.0	

IPCC良好手法指針の第1階層方法を適用して求めたメタン排出量の推計値は、1996年改訂IPCCガイドラインの第1階層方法のそれよりも約6%高い。1994年の消化管内発酵からの総メタン排出量は、IPCCのデフォルト値を適用すると約162Ggであったが、IPCC良好手法指針の第2階層方法を適用した場合は約170.97Ggであった。カンボジアの3家畜種の中では、非搾乳牛が69%を占める最大の排出源であり、2番目が30%の水牛、3番目が1%の豚である。

家畜個体群の増加が鈍かったので、家畜からの排出量は1990年代にそれほど変化しなかった。しかし、非搾乳牛からの排出は増え、水牛からの排出は減少し、豚からのそれは一定であるものと思われる。

表6 IPCC良好手法指針の第2階層方法により推計した、カンボジアにおける消化管内発酵からのメタン排出量 (Gg)

家畜種	1994	1995	1996	1997	1998	1999
牛	111.34	118.77	116.86	120.14	114.71	120.46
水牛	57.60	55.65	53.12	53.17	50.30	47.50
豚	2.02	2.04	2.15	2.44	2.34	2.19
排出量合計	170.97	176.47	172.14	175.46	167.35	170.15

## ② 糞尿管理システムからのメタン排出

1994年におけるカンボジアの家畜糞尿管理システム (AMMs) からのメタン排出量は、第1階層方法を適用した場合、22Gg (CO<sub>2</sub>換算で462Gg) と推計された。内訳を見ると、非搾乳牛からは5.2Gg、水牛からは2.4Gg、豚からは14Gg、馬・家禽からは0.4Ggであった。

各小分類家畜種の排出係数は、第2階層方法を適用して求めた。非搾乳牛と水牛の平均排出係数はIPCCのデフォルト値に非常に近かった。第1階層方法と第2階層方法の間で、推計されたメタン排出量にほとんど差異はなかった。第2階層方法を適用した場合の1994、1995、1996、1997、1998、および1999年の糞尿管理からのメタン排出量は、それぞれ、20.57、20.89、21.49、23.49、22.63、および21.70Ggと推計された。豚のAMMsからの排出量が最高であり、全体の約

69%を占めた。非搾乳牛、水牛、および家禽からの排出量は全体の、それぞれ、19%、10%、および2%であった。糞尿管理システムの割合（MS%）、メタン換算係数、および飼料摂取量は排出係数計算において非常に重要な要素である。したがって、これらの主要数値に関する研究を進める必要がある。

表7 カンボジアにおけるAMMsのメタン排出係数

大分類	小分類	排出係数	
		IPCCデフォルト値	第2階層方法 (IPCC良好手法指針)
牛	成牛オス	2	1.7
	成牛メス		1.3
	成牛メス（出産）		1.6
	未成熟牛		1.4
水牛	成牛オス	3	3.2
	成牛メス		2.9
	成牛メス（出産）		2.9
	未成熟牛		2.0
豚	なし	7	6.9
家禽	なし	0.023	

表8 IPCC良好手法指針の第2階層方法により推計した、カンボジアにおける糞尿管理からのメタン排出量（Gg）

家畜種	1994	1995	1996	1997	1998	1999
非搾乳牛	4.01	4.28	4.21	4.33	4.14	4.34
水牛	2.37	2.28	2.18	2.06	2.06	1.95
豚	13.96	14.10	14.84	16.82	16.13	15.10
家禽	0.23	0.23	0.26	0.28	0.30	0.31
排出量合計	20.57	20.89	21.49	23.49	22.63	21.70

### ③ 家畜起源のメタン排出量推計において考えられる不確実性

カンボジアのGHGインベントリーの大きな問題は、全体的に、データ不足と不正確さである。本研究により、IPCC良好手法指針に準拠した第2階層方法を適用すれば、カンボジアにおける主要排出源として認識される消化管内発酵および糞尿管理の推計を介してメタン排出量推計の質を改善できる可能性が示された。しかし、以下の問題が未解決であることも確認された。

- ・代表的家畜の生体重は、排出係数を求める上での基本的要素である。非搾乳牛の生体重に関するデータには個人的照会による情報を用いた。推計精度を向上させるためには、信頼性の高いデータを収集する必要がある。
- ・非搾乳牛の飼料消化率は、1996年改訂IPCCガイドラインから引用した。実際の国情とは異なる可能性がある。
- ・飼料摂取量は、純エネルギーを求める方程式に基づいて推計した。家畜は農村地域の農家によって乏しい飼料で飼育されているので、過大評価であるかもしれない。
- ・消化管内発酵では、メタン変換率（ $Y_m$ ）が排出係数を求める上で重要な係数である。IPCCの既

定値を  $Y_m$  値として採用した。この値を欠くと、一部の国では、推計が非常に不正確になる恐れがある。

- AMMs からの排出については、カンボジアの環境と似ていることから、タイの非搾乳牛と水牛の値を引用したが、豚については専門家に値を求めた。また、メタン転換係数と飼料摂取もメタン排出量を推計する上での重要な係数である。したがって、推計にはこれらの要素に起因する不確実性が内在している。

#### ④ 結論と提言

I P C C 良好手法指針に説明されている第2階層方法により、家畜起源のメタン排出量推計の精度が改善されるが、家畜個体群、家畜の活動、飼料の状態、飼料摂取量、およびメタン換算率に関する詳細なデータが必要である。本研究では、このような詳細データをカンボジアにおける調査と、類似する特徴を持つ近隣国から得た。このようにして入手したデータから、第2階層方法で使用する排出係数を求めた。本研究の結果は、この国の家畜起源の温室効果ガス・インベントリーを更新するのに非常に役立つものと考えられる。

カンボジアにおける家畜起源の温室効果ガス・インベントリーの推計を改善するためには、以下の事柄を考慮に入れる必要がある。

- 排出量推計の精度は小分類家畜種の個体群データによって決まる。したがって、家畜の個体数は、正しく記録する必要がある。
- 家畜の活動、飼料摂取、飼料消化率、および飼料体系を調査する必要がある。
- 各種飼料のメタン変換率に関する調査を実施する必要がある。
- 糞尿管理システムの使用法とメタン換算係数は、排出係数と総排出量を左右する非常に重要な要素であるので、それぞれの研究を実施する必要がある。
- 第2階層方法は主に国/地域の環境をベースにしているため、消化管内発酵と糞尿管理からのメタン排出を推計するときには、その適用が推奨される。
- さらに正確に推計するには、家畜起源のメタン排出に関する研究室実験が必要である。
- データ管理システムを十分に確立する必要がある。

#### 5. 本研究により得られた成果

- 1990年から1996年にかけての、中華人民共和国における家畜糞尿管理システムからのメタンおよび亜酸化窒素排出量の推計値が得られた。
- 中華人民共和国における家畜糞尿管理システム分野におけるインベントリー改善のための、今後の研究課題(詳細に調査すべきデータ)のリストを提示した。
- 中華人民共和国における家畜の消化管内発酵からのメタン排出インベントリーを更新した。
- 家畜の消化管内発酵からのメタン排出量推計の質をさらに改善するための方策について、提言をまとめた。
- カンボジアにおける家畜の消化管内発酵及び糞尿管理システムからのメタン排出インベントリーを更新した。
- 家畜の消化管内発酵及び糞尿管理システムからのメタン排出量推計の質をさらに改善するための方策について、提言をまとめた。

## 6. 引用文献

- 1) Chen Youchun (1999), *Modern Beef Cattle Production* (in Chinese), Agricultural Publishing House, Beijing
- 2) Guo, Tingshuang (1996), *Livestock production based on Straw*, Shanghai Science and technology Publishing House, Shanghai.
- 3) Intergovernmental Panel on Climate Change (2000), *Good Practice Guidance and Uncertainty Management In National Greenhouse Gas Inventories*.
- 4) Intergovernmental Panel on Climate Change (1997), *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol. 3 Reference Manual*.

### [国際共同研究等の状況]

本研究はエコフロンティアフェローシップ制度を利用して、中華人民共和国から李 玉娥氏、董 紅敏氏を、またカンボジアから Thy SUM 氏を招聘して実施した。

### [研究成果の発表状況等]

(1) 誌上発表 (学術雑誌) なし

(2) 口頭発表

- ① K. Tanabe: NCSP/GEF Project Initiation Workshop “Capacity Building for Improving National GHG Inventories (West African Region), Cotonou, Benin, 16 – 18 October 2001 “On-going effort by a Cambodian expert to apply the Good Practice Guidance”

(3) 出願特許 なし

(4) 受賞等 なし

(5) 一般への公表・報道等 なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

中国、カンボジアの家畜生産に伴うGHGインベントリーの精度向上が実現できた。同精度向上のための提言が行政的に採用されれば東アジア諸国の将来のインベントリー精度向上が期待される。