

## 4-10 途上国農村地域からの温室効果ガス排出量の制御可能性と その費用負担に関する研究

後藤尚弘（豊橋技術科学大学）

### 1. 研究の目的と概要

本研究の目標は 2013 年以降の農業関連の排出・吸収量の扱い方について分析し、特に今後途上国を参加させるために必要となるデータや参加国が増えた場合の影響やカウント方法等について分析することである。また、これらの活動に伴う費用分析を行うことである。そのために、以下の項目を実施する。

途上国の農業部門における温室効果ガス排出量を推計する。特に途上国の場合はデータが整備されていない場合が多いので、現地調査を中心にデータを収集し、推計を行う。

有効な排出対策を挙げ、その費用と削減効果を推計する。

日本との共同実施の可能性を検討する。また、途上国が京都議定書へ参加しやすい条件、可能性についても検討する。

本研究の成果は里山における農業活動による温室効果ガスの排出量推計に資する情報となる。

対象 国 インドネシア

産業 農業関連部門（農村地帯、肥料製造産業）

物質 炭酸ガス、亜酸化窒素、メタン

吸収源活動 化学肥料の有機質肥料への代替、灌漑施設のある農地の増大、農業残渣焼却の有無。

### 2. フェーズ の成果

本研究はフェーズ から始まったので、フェーズ での成果はない。

### 3. フェーズ の成果

#### 3-1. 目的及び目標

途上国の農業部門における温室効果ガス排出量を推計する。

有効な排出対策を挙げ、その費用と削減効果を推計する

#### 3-2. 方法及び結果

調査 各農業研究センターにヒヤリングを行い、インドネシア農業における肥料使用状況を明らかにする。肥料工場におけるエネルギー源単位を明らかにし、肥料工場からの温室効果ガス排出量を推計する。

作物研究センター、土壌研究センター、野菜センター	インドネシア農村地帯における肥料使用状況について
インドネシア米作物センター	有機質肥料の利用について
インドネシア農務省、インドネシア統計協会	統計データの収集
スリヴィジャワ肥料工場	肥料工場からの炭酸ガス排出量について

#### 調査で明らかになったこと

- 化学肥料の投入量（尿素 150-200kg/ha/season、1300rp/kg 60rp=1¥）は日本と差がないが、2毛作が普通に行われているので環境負荷は高い。化学肥料からの堆肥への移行は生産重視の現状では考えられない。2013年以降の課題といえよう。
- ジャワ島と他の地域の農業は規模・設備、農家の所得等において明らかな差がある。温室効果ガス対策の普及には農民への啓蒙活動が不可欠である。その普及にもジャワ島とそれ以外の地域では異なった方法が求められよう。
- 小規模かつ低所得の農村での温室効果削減は限られている。肥料投入の低減や灌漑管理であろう。最近国を挙げて取り組んでいるのは葉の色によって肥料の投入を加減する方法である。色のついたプレートを農家に配布・指導しているが、普及員の人手不足のために思うように進んでいない。こうした普及啓蒙活動に日本が貢献できる可能性もある。ちなみに色プレートはフィリピン製で1米ドルである。
- 化学肥料の導入により牛糞堆肥をもちいる伝統的な「リサイクル農業」は壊滅したが、最近見直され始めている(rice-cow system)。小規模な牛舎において牛糞、稲わらを混ぜ合わせるという単純な方法である。ただし、集中的に牛糞を処理する方法に比べれば温室効果ガスの排出は多くなると予想される。
- インドネシアの肥料工場はその大半が尿素製造工場である。生産量の約半数は日本等への輸出用、残りは国内需用である。尿素的生産量は政府の統制化にあり、各工場が独自に増やしたりすることはできない。
- 肥料工場からの温室効果ガス排出に関しては天然ガスを採掘するときに随伴する炭酸ガスと燃料として天然ガスを使用するときに排出される炭酸ガスがある（採掘時の天然ガスにふくまれる炭酸ガスの量は年々増加している）。天然ガス随伴炭酸ガスは多くが尿素的原料として利用されるが、それでも余剰の炭酸ガスが大気へ放出される。この随伴ガスの影響のほうが燃料年少の影響よりも大きい。肥料工場への CDM を考えた場合、対策のとりやすい稼働率の向上や省エネルギー等による炭酸ガス排出は 2008 - 2012 における実施が望ましいと思われる。2013 以降は余剰の炭酸ガスをどのように処理（保管）するかを検討したほうがよいのではないかとと思われる。

### 3 - 3 . 考察及びフェーズ のまとめ

#### 1 ) はじめに

インドネシアは農業国であり、2002 年にはインドネシアの国土の 70% およそ 5160 万ヘクタールは農業分野に利用されている。また、インドネシアの人口のおよそ 44%、9160 万はこの部門で働いている。

1963 年以来、インドネシアにおける尿素肥料工場は、国内の肥料の需要を満たす役割を果たしている。尿素肥料の必要性の農業分野を実現させるために、インドネシア政府は 1959 年に南部スマトラのパレンバンという町に肥料工場を建設した。その後、もう 1 つ肥料工場を設立したが、政府は 1984 以降、15 の肥料工場が設立した。その結果、インドネシアの尿素肥料生産は 1980 年のおよそ 200 万トンから 1990 年のおよそ 500 万トンまで増加でした。2001 年に、インドネシアは 1981 年の尿素的 3 倍のおよそ 600 万トンの尿素肥料を生産した。

尿素は CO<sub>2</sub> との液体アンモニアの反応によって作り出される。アンモニアは空気中の窒素と天然ガスから改質された水素から生産される。尿素製造工程における炭酸ガスの排出は天然ガスの改質工程から発生する。天然ガスの改質は高温高压で行われるので、多くのエネルギーを必要とする。天然ガスは改質工程の原料ガスとしても使われるが、燃焼ガスとしても使われる。よって、尿素肥料工場は直接的（燃料の燃焼）あるいは間接的（天然ガスの改質）に CO<sub>2</sub> を排出する。1990 におけるインドネシアの化石燃料消費による GHGs の放出は 16 万 4270Gg であり、そのうちの 33% はエネルギー部門であり、20% は産業部門であった。燃料のガスの燃焼による放出は全体の 3.5% であった。

#### 2 ) 推計方法

本論文では、インドネシアの尿素肥料工場からの CO<sub>2</sub> と他の GHGs 排出の推計値を示す。推計方法は IPCC の方法に基づき、インドネシアの尿素肥料工場におけるエネルギー消費 (specific energy consumption : SEC)、汚染物質排出係数 (specific emission factor : SEF) にから計算を行った。

$$SEC = \frac{\text{Total annual fuel consumption}}{\text{Total annual urea fertilizer production}} \quad (1)$$

$$\text{direct SEF} = SEC \times \text{Carbon Emission Factor, CEF} \times f_o \times \frac{44}{12} \quad (2)$$

$$\text{indirect SEF} = \frac{\{0.280 \text{ HC} \times (1-x)\} - \left(\frac{44}{60} \times \text{total annual urea fertilizer production}\right)}{\text{Total annual urea fertilizer production}} \quad (3)$$

$$SEF \text{ other GHGs} = \frac{SEC \times EF}{\text{Total annual urea fertilizer production}} \quad (4)$$

$$\text{Total Emissions} = \sum (SEF \times \text{Total annual urea fertilizer production} \times GWP) \quad (5)$$

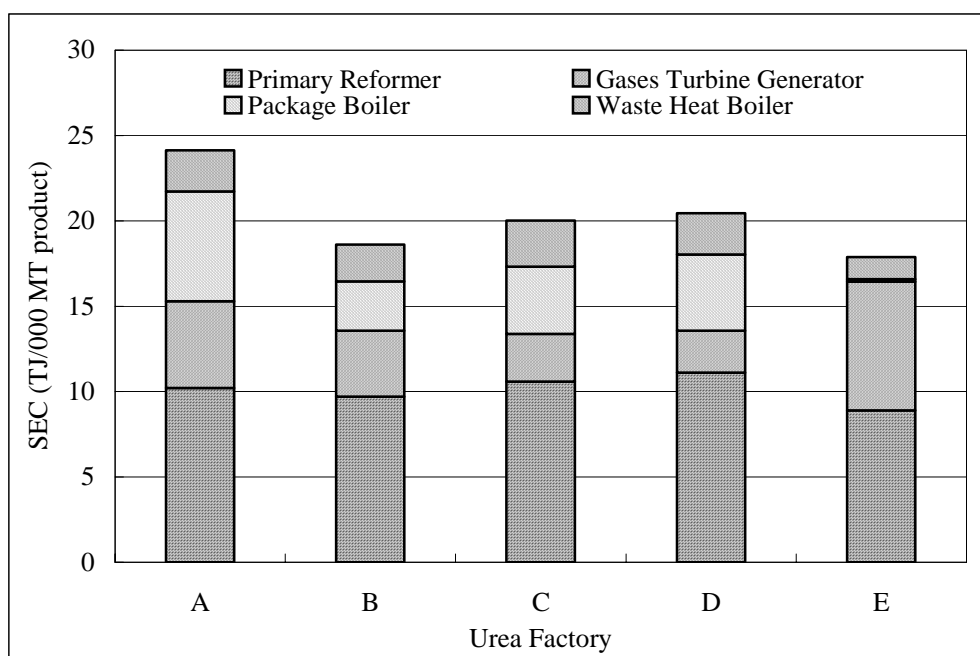
#### 3 ) 結果

SEC は熱や電気消費の指標である。すべてのインドネシアの尿素肥料工場は、天然ガスや石油の燃焼することによって熱、電気、蒸気を生産している。Figure 1 に各尿素肥料工場の SEC をしめす。Figure

1によると、インドネシアの尿素肥料工場では 13.7~24.7TJ/kt のエネルギーが消費されている。この結果より、尿素肥料生産における消費エネルギーは燃焼効率に依存していることがわかる。しかしながら、尿素肥料工場の SEC は繊維工業より小さい。インドネシアの繊維工業の SEC は Kumar の報告により、およそ 5~84.5 Tj/kt である。

汚染物質排出係数(SEF)は尿素肥料生産によって、放出される CO<sub>2</sub> と他の GHG の指標である。インドネシアの尿素肥料工場に関する SEF には 2 種類ある。直接 SEF(天然ガスあるいは石油燃焼)と間接 SEF(天然ガスからの CO<sub>2</sub> 分離と改質)である。Table 1 に尿素工場の SEF を示す。Table 1 によると直接 SEF が 0.9~1.2Gg/kt、間接 SEF が 3.4~7.1 Gg/kt である。この結果より直接 SEF よりも間接 SEF のほうが大きいことがわかる。ほとんど尿素肥料工場で、直接 SEF は間接 SEF およそ 4 倍である。他の研究によると、例えば世界銀行の推計では改質における SEF が 0.5、CO<sub>2</sub> の除去で SEF1.2 と見積もっている。尿素肥料工場の CO<sub>2</sub> の総 SEF は直接 SEF と間接 SEF の和であるから、尿素肥料からの総 SEF はおよそ 4.3~6.1 と見積もられる。セメント製造における SEF が 0.498 であることから、肥料工場の SEF はきわめて大きいことがわかる。

**Figure 1.** An average SEC of surveyed urea factories by energy conservation units

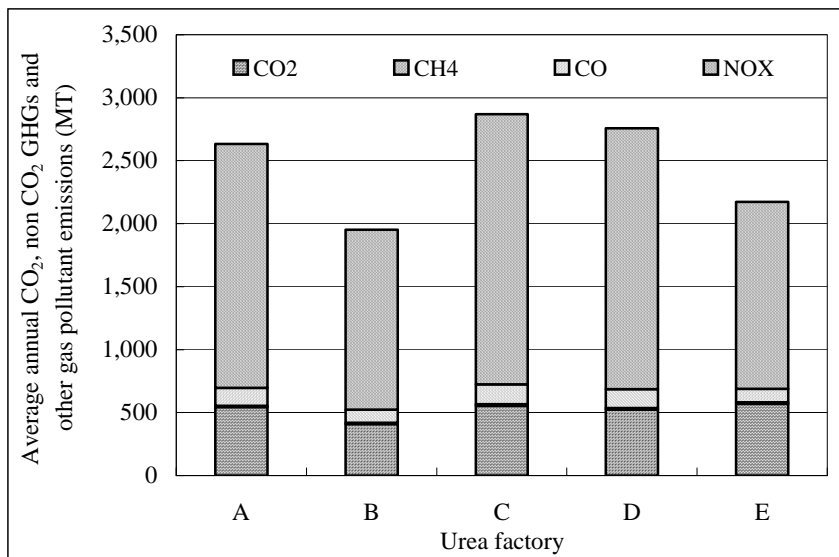


**Table 1.** An average CO<sub>2</sub>, non-CO<sub>2</sub> GHGs and other gas pollutant emissions per physical product urea individual SEF of surveyed Indonesia's urea factories by gas types

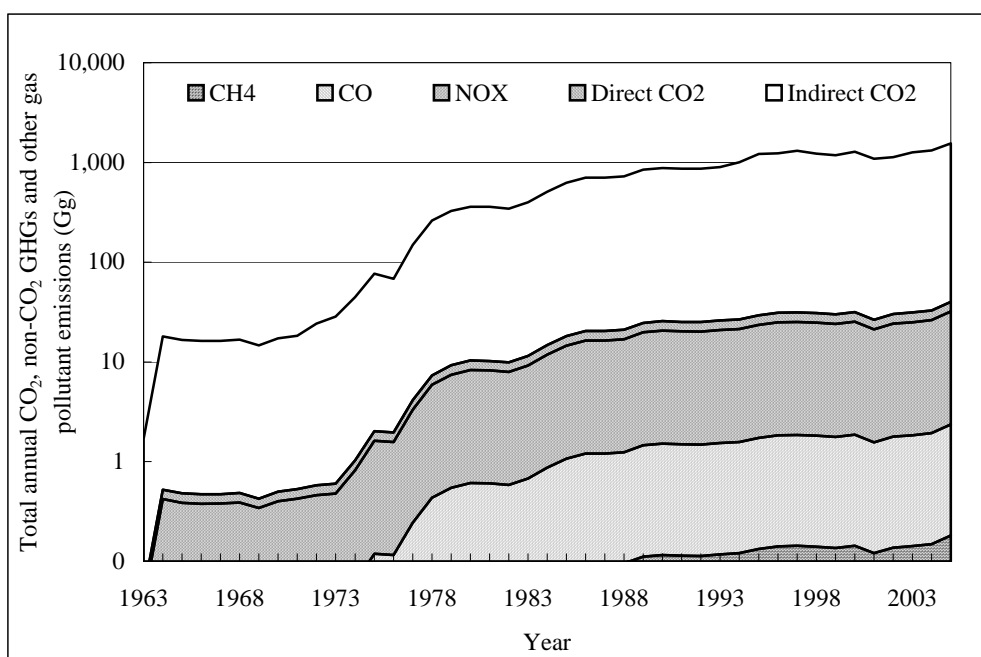
Urea factory	SEF of surveyed Indonesia's urea factories (t/000 MT product)				
	Direct CO <sub>2</sub>	Indirect CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
A	1.183	289.448	0.026	0.311	4.214
B	0.856	15.502	0.019	0.220	2.979
C	1.002	160.932	0.023	0.283	3.871
D	1.018	212.712	0.024	0.294	4.028
E	1.001	686.403	0.019	0.191	2.604

以上より、インドネシアの尿素肥料工場からの CO<sub>2</sub> 排出は 2002 年でおよそ 3 万 5550 トンと見積もられる。そのうち直接排出が 6,537 トンであり、間接排出が 29,013 トンである。各肥料工場の GHG 排出量を Figure 2 に、肥料工場全体 GHG の排出量を Figure 3 に示す。

**Figure 2.** An average annual CO<sub>2</sub>, non-CO<sub>2</sub> GHGs and other gas pollutant emissions of surveyed urea factories by gas type



**Figure 3.** Total annual CO<sub>2</sub>, non-CO<sub>2</sub> GHGs and other gas pollutant emissions from all Indonesia's factories from 1963 until 2005



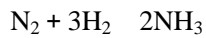
#### 4) まとめ

本研究により、インドネシアの肥料工場からの温室効果ガス排出量を見積もることができた 2002 年においてインドネシアの尿素肥料工場からはおよそ 3 万 5000Gg の二酸化炭素が排出されたと推計できる。それと同時に、CO、CH<sub>4</sub>、および NO<sub>x</sub> も約 1.6、0.1、および 12.7Gg が放出されていると推計できた。

## 参考 肥料生産プロセス

アンモニアを製造するためには以下の反応は数百 atm、反応温度は 400 ~ 500 の条件化で行われる。

H<sub>2</sub> は天然ガスから改質



触媒としては鉄を主触媒とし、これに 2~5% のアルミナ、0.5~1% の酸化カリウムなどを加えたものが用いられる。

尿素を工業的に製造するには、二酸化炭素とアンモニアの混合ガスを 200 , 120 ~ 400atm の条件で反応させる。



CO<sub>2</sub> は天然ガス採掘時に随伴、天然ガス改質時に発生

## 4 . 成果の達成度

当初の予定していた調査についてはほぼ達成することができた。ただし、本研究は 17 年度まで継続する予定である。

## 5 . 今後の課題

インドネシアが京都議定書に参加するためのインセンティブとなる農村地域への温暖化対策についての検討をおこなう予定である。