

## 8. アジア地域における環境負荷物質の排出量推計に関する研究

### A study on emission estimation of air pollution in Asia

長山友祐\*・後藤慎平\*\*・藤原健史\*\*\*・松岡 譲\*

Yusuke NAGAYAMA, Shinpei GOTOU, Takeshi FUJIWARA and Yuzuru MATSUOKA

**ABSTRACT;** In order to clarify the actual conditions of emissions of environmental loads in Asia, we estimated emissions from energy consumption and agriculture in 2001 and developed emissions inventories with ArcGIS.

To estimate the emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> from energy consumption, we calculated the service demands of each sector by using economic model and constructed the energy enduse model. We also estimated the emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O from agriculture in each emission resource. Then the emissions are spatially distributed by using the landuse data and large point source(LPS) data such as electric power plants including its longitude and latitude data.

As a result, we estimated total emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> are 31.1(Tg), 29.5(Tg), 6026.2(Tg), and the large amount of the emissions is from electric power plants. The results of spatial distribution of these gases show that these gases have concentrated exhaust source on a specific place. We also estimated emissions of CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O from agriculture are 69.4(Tg), 15.0(Tg), 3245.8(Gg), and the large amount of these gases is emitted from the north part of India.

**KEYWORDS;** environmental loads, emission estimation, inventory

### 1 はじめに

18 世紀の産業革命以降、人々の暮らしは豊かになり、今日われわれは快適な生活を送っている。しかし、それと同時に、さまざまな地球環境問題にも直面している。地球温暖化と大気汚染の問題はその主要なものである。

近年、中国、インドといったアジア地域では、急速な経済活動の発展、人口増加に伴って大気中に排出される温室効果ガス、大気汚染物質などの環境負荷物質が増加し続けている。地球温暖化、大気汚染の問題を解決するためにはこれらの削減対策が不可欠であり、そのためにはまず各国における環境負荷物質の排出量の現状について定量的な評価を行い、将来像について把握しておくことが必要である。

そこで本研究では、環境負荷物質の排出実態の解明のために、アジア地域を対象として、人為起源のうちエネルギー消費由来、農業・畜産業由来の環境負荷物質の排出量を推計し、推計された排出量を空間的に配分することで、アジア地域における排出量インベントリを作成することを目的とした。

---

\*京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻, Department of Urban Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

\*\*特許庁, Japan Patent Office

\*\*\*岡山大学大学院環境学研究科資源循環学専攻, Division of Sustainability of Resources, Graduate School of Environmental Science, Okayama University

## 2 研究内容

### 2.1 概要

本研究では、表1に示すアジア27カ国を対象国、2001年を対象年として人為起源のうちエネルギー消費部門、農業・畜産業部門におけるCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>の排出量を推計した。農業・畜産業部門においては、CH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oの排出量も推計した。また、推計された排出量を地理情報システムによって配分し、排出量インベントリを作成した。

表1 研究の対象国

| グループ  | 国                                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| グループA | 中国、インド、ベトナム、タイ、インドネシア                                                                              |
| グループB | 日本、韓国、北朝鮮、台湾、ネパール、バングラデシュ、スリランカ、パキスタン、トルクメニスタン、タジキスタン、ウズベキスタン、キルギスタン、フィリピン、マレーシア、ミャンマー、シンガポール、ブルネイ |
| グループC | モンゴル、ブータン、アフガニスタン、ラオス、カンボジア                                                                        |

### 2.2 方法

#### 2.2.1 排出量推計

エネルギー消費部門については、国・地域を三つのグループに分けて推計を行った。

グループAでは、エネルギーエンドユースモデルによって各部門のサービス需要量を満足させるために、いくつかの制約条件下で総費用が最小となるような最適技術選択を行い、そのような選択を行った場合の環境負荷物質の排出量を算出した。

図1にグループBの排出量推計方法の概要を示す。グループBでは、まず、我部山(2006)が構築した計量経済モデルを用いて農業(ここでは農業機械のみを指す)、商業、家庭、工業、発電部門のサービス需要量を算出し、次にエネルギーエンドユースモデルによって、環境負荷物質の排出量を算出した。運輸部門については、エネルギーエンドユースモデルを用いず、EMEP/CORINAIR(2006)の方法を用いて、輸送機関別の排出係数を算出し、輸送機関別に推計した輸送量に乗じて環境負荷物質の排出量を算出した。

グループCでは、入手可能データの制約上、エネルギーエンドユースモデルは適用せず、簡易的な手法を用いて環境負荷物質の排出量を算出した。

農業・畜産業部門では、台湾を除く各国については国連食糧農業機関(FAO)の統計(2005)(FAOSTAT)、台湾についてはCouncil of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C(2006)の家畜頭数、作物生産量、作付面積、肥料消費量のデータから排出要因ごとに排出係数などを設定し、環境負荷物質の排出量を算出した。本研究では作物残渣、家畜の糞の燃焼によって排出される環境負荷の排出量も推計しているが、CO<sub>2</sub>についてはバイオマス起源であることから扱っていない。

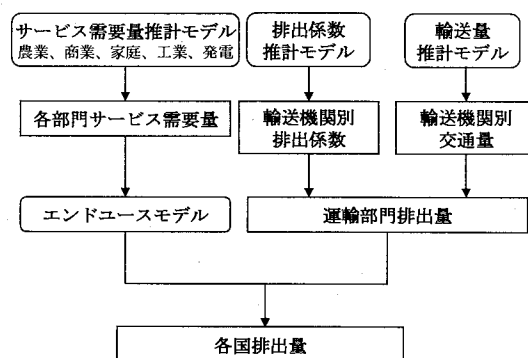


図1 グループBの排出量推計方法

#### 2.2.2 排出量配分

次に国ごとに推計された排出量を ArcGIS を用いて配分した。図2に配分指標のデータ元を示す。

排出量インベントリの作成に

図2 配分指標データの参照元

| 部門      | データの種類 | 参照元                                                        |
|---------|--------|------------------------------------------------------------|
| エネルギー消費 | 作物土地利用 | European Commission, Joint Research Centre(2004)           |
|         | 人口分布   | Oak Ridge National Laboratory(2003)                        |
|         | 道路分布   | National Geospatial Intelligence Agency(1995)              |
| 農業・畜産業  | 家畜分布   | FAO Geonetwork(2004)                                       |
|         | 作物分布   | Center for Sustainability and the Global environment(2004) |

において、大規模発生源(LPS)について正確な位置が分かっていることが重要である。本研究では、発電、鉄鋼、セメント部門については Google earth や World Gazetteer data などを用いて LPS の経度緯度を特定した。そ

の後、これらの部門については特定された LPS データと人口分布データ、農業部門については作物土地利用データ、運輸部門については道路分布データ、それ以外については人口分布データを用いて配分した。

また、農業・畜産業部門では家畜由来の排出量は家畜分布データ、作物由来の排出量は作物分布データ、肥料由来の排出量は、IFA/IFDC/FAO(1999,2002)のデータがあるものについては作物ごとに使用される肥料消費量の割合を算出し、データがない場合は作物生産量の割合を肥料消費量の割合として、それを考慮したうえで作物の地理的分布データを用いて配分した。

### 3. 結果と考察

#### 3.3.1 排出量推計結果

表 2 に 2001 年における NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の部門別排出量、表 3 に CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O の農業・畜産業由来の排出量を示す。なお、ここでの農業・畜産業由来とはエネルギー消費由来以外のものを指す。

表 2 2001 年における NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の部門別排出量

| 国名     | NO <sub>x</sub> (Mg) |           |            | SO <sub>2</sub> (Mg) |         |            | CO <sub>2</sub> (Gg) |        |           |
|--------|----------------------|-----------|------------|----------------------|---------|------------|----------------------|--------|-----------|
|        | エネルギー消費              | 農業畜産業     | 合計         | エネルギー消費              | 農業畜産業   | 合計         | エネルギー消費              | 農業畜産業  | 合計        |
| 中国     | 11,330,145           | 1,348,408 | 12,678,553 | 18,499,055           | 110,777 | 18,609,832 | 2,750,509            | 21,353 | 2,771,861 |
| インド    | 4,685,294            | 1,074,927 | 5,760,221  | 5,087,395            | 115,272 | 5,202,667  | 1,006,553            | 14,397 | 1,020,950 |
| インドネシア | 1,300,573            | 186,866   | 1,487,439  | 379,865              | 16,140  | 396,005    | 220,134              | 2,844  | 222,978   |
| 日本     | 4,422,437            | 47,571    | 4,470,008  | 554,250              | 4,759   | 559,009    | 838,416              | 152    | 838,568   |
| パキスタン  | 565,170              | 149,822   | 714,991    | 668,911              | 15,387  | 684,298    | 68,827               | 3,027  | 71,854    |
| 韓国     | 2,029,094            | 29,597    | 2,058,692  | 1,133,275            | 2,733   | 1,136,008  | 355,259              | 233    | 355,493   |
| 台湾     | 824,811              | 15,041    | 839,852    | 450,393              | 583     | 450,976    | 137,740              | 202    | 137,942   |
| その他アジア | 2,517,591            | 617,444   | 3,135,035  | 2,371,712            | 61,050  | 2,432,762  | 601,297              | 5,250  | 606,547   |
| アジア合計  | 27,675,116           | 3,469,675 | 31,144,791 | 29,144,855           | 326,701 | 29,471,557 | 5,978,735            | 47,459 | 6,026,193 |

エネルギー消費部門、農業・畜産業部門ともに中国、インドにおいて環境負荷物質の排出量が非常に大きく、この 2 カ国のみでアジア全体の排出量の半分以上を占めている。これは、中国、インドともに人口が非常に多くエネルギー消費量が大きいこと、農業・畜産業が非常に盛んであることを反映している。

エネルギー消費部門において、NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> は中国、インドに次いで日本の排出量が大きい。SO<sub>2</sub> は中国、インドに次いで韓国の排出量が大きく、日本のアジア全体の排出量に占める SO<sub>2</sub> 排出量の割合は NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> ほど大きくはない。

また、農業・畜産業部門においては、全ての物質について中国、インドに次いでバングラデシュ、インドネシア、パキスタンといった人口が多い発展途上国での排出量が多いことが分かる。

図 2 にアジア地域(ただし、グループ C は除く)における NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の部門別排出量割合を示す。この図から分かるように、全ての物質においてほぼエネルギー消費部門からの排出量が多い。特に、発電部門の割合が大きく、その割合は 1/3 以上とい

表 3 2001 年における農業・畜産業由来の CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O 排出量

| 国名      | CH <sub>4</sub> (Gg) | NH <sub>3</sub> (Gg) | N <sub>2</sub> O(Gg) |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 中国      | 19,259.91            | 5,956.61             | 1,396.02             |
| インド     | 26,876.72            | 4,984.86             | 1,122.16             |
| インドネシア  | 3,346.13             | 536.05               | 124.83               |
| バングラデシュ | 3,428.11             | 531.16               | 113.97               |
| パキスタン   | 3,925.27             | 1,023.31             | 221.79               |
| ベトナム    | 2,151.32             | 262.52               | 63.72                |
| その他アジア  | 10,390.44            | 1,714.57             | 383.32               |
| アジア合計   | 69,377.90            | 15,009.07            | 3,425.80             |

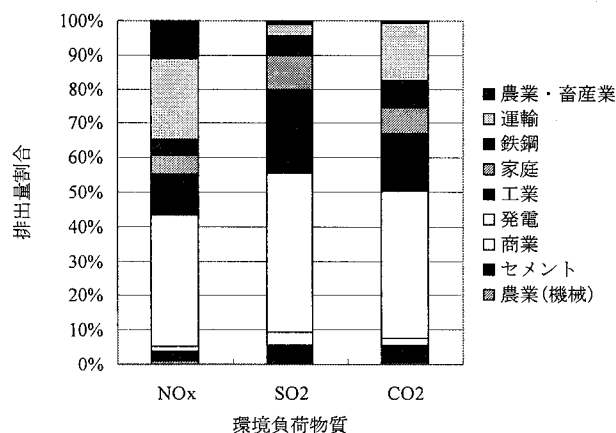


図 2 アジア地域における NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の部門別排出量割合

う結果になった。したがって、これらの環境負荷物質を削減する上で最も重要な部門は発電であると考えられる。発電の次に割合が高いのはNO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>は運輸部門、SO<sub>2</sub>は工業部門であることが分かる。

次に各国の排出量のうち、NO<sub>x</sub>について Streets *et al.*(2003)の推計したデータと Olivier *et al.*(2005)が推計したEDGAR32FTのデータとの比較を行う。ただし、比較対象のデータはともに2000年を対象としている。また、本研究では農業・畜産業の排出要因を幅広く扱ったが、比較対象のデータは扱っていない部

分が多く、比較することができないので、ここではエネルギー消費部門についてのみ比較を行う。図3がその比較結果を示したものである。部分的にばらつきはあるものの、概ね他の研究と一致していることが分かる。

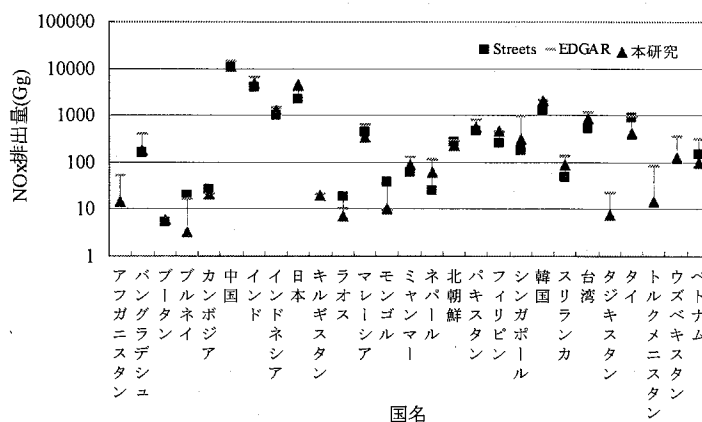


図3 NO<sub>x</sub>の各国排出量の比較

### 3.3.2 排出量分布

次ページの図4～6に2001年のアジア地域におけるNO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>のエネルギー消費部門と農業・畜産業部門の総排出量インベントリ、図7～9にCH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oの農業・畜産業部門の排出量インベントリを示す。排出量インベントリは全て0.5°×0.5°メッシュで、1km<sup>2</sup>あたりの排出量で示している。

まず、NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>の排出量インベントリでは、東京、上海、ソウル、バンコク、ジャカルタなど各国の主要都市など特定の地域に集中している。これより、エネルギー消費由来の排出量が非常に大きいことが分かる。

また、NO<sub>x</sub>については日本と韓国の排出量が多い。日本と韓国は中国やインドに比べて面積は小さいが、表2によってアジア全体のエネルギー消費部門からの排出量に対する両国の排出量の割合が高いことから分かるように、それぞれ先進国、中進国であり、エネルギーが大量に消費されていることを反映している。

次に、農業・畜産業由来のCH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oの排出量インベントリでは、全ての物質についてインドの北部において排出量が多いことが分かる。特に、CH<sub>4</sub>の排出量は他の地域に比べて非常に大きい。これは、CH<sub>4</sub>の排出量の多くが家畜、特に牛の腸内発酵と、水田由来によるため、この地域における牛の頭数、水田が非常に多いためと考えられる。また、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oの窒素化合物は排出量分布が非常に似ており、インドの北部以外では、中国の内陸東部での排出量が非常に大きい。その要因は、中国内陸東部では牛や豚などの家畜が多いだけでなく、化学窒素肥料の消費割合が大きい米、小麦、トウモロコシなどの栽培が盛んであることがあげられる。

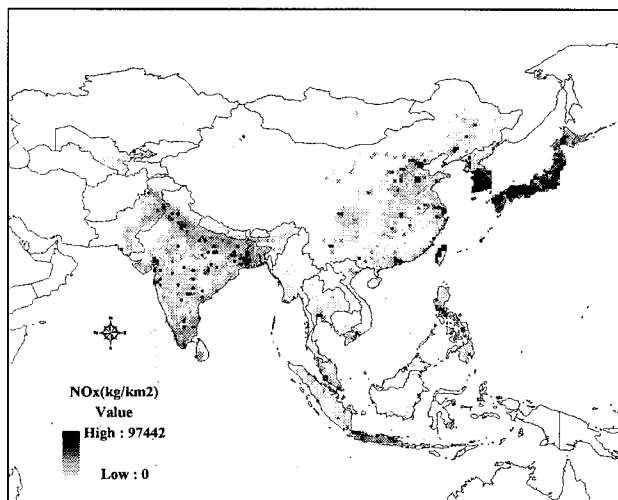


図 4 2001 年の NO<sub>x</sub> 排出量インベントリ

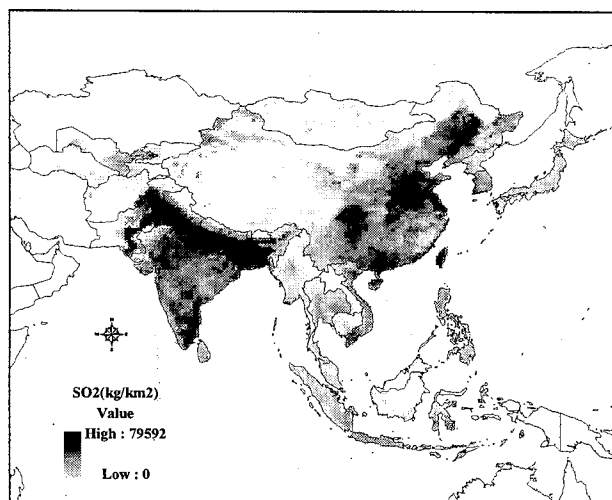


図 5 2001 年の SO<sub>2</sub> 排出量インベントリ

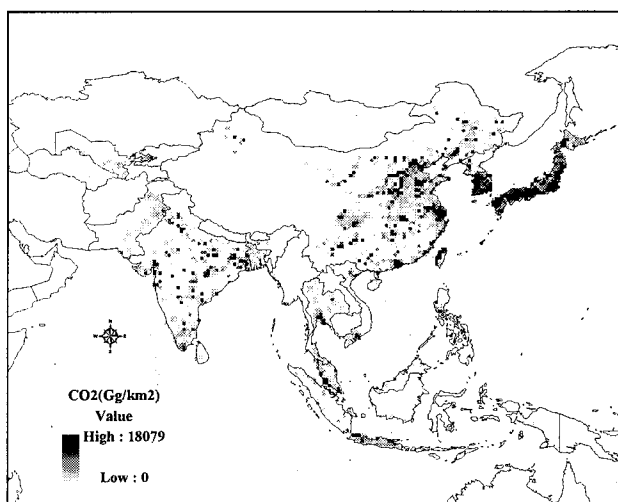


図 6 2001 年の CO<sub>2</sub> 排出量インベントリ

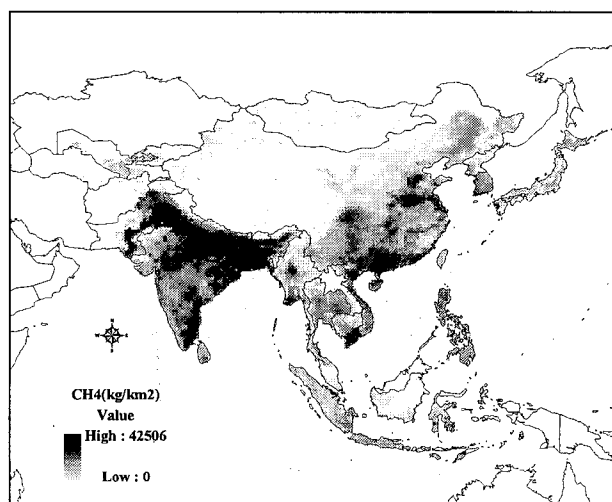


図 7 2001 年の CH<sub>4</sub> 排出量インベントリ

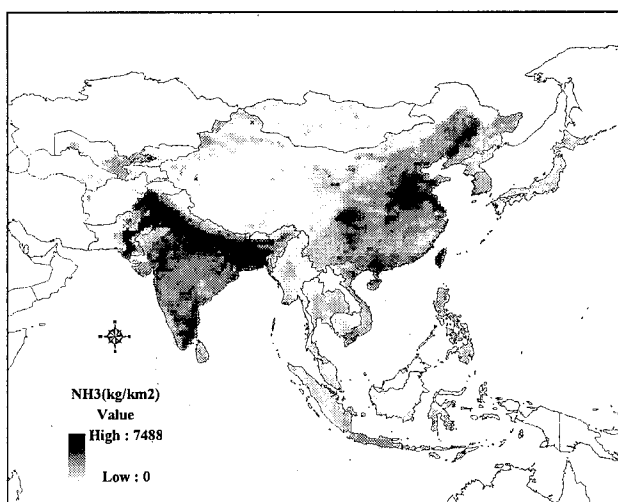


図 8 2001 年の NH<sub>3</sub> 排出量インベントリ

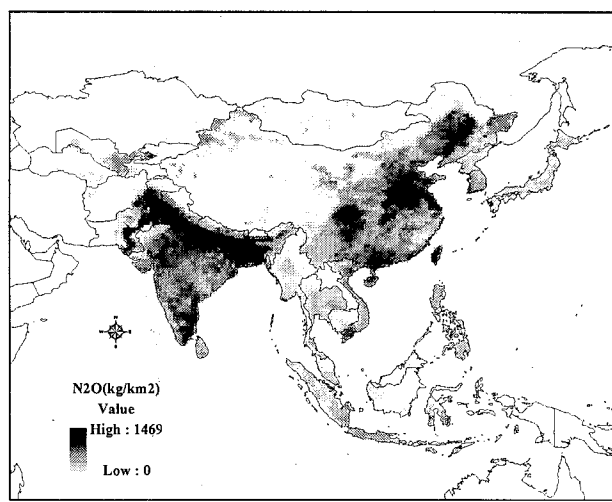


図 9 2001 年の N<sub>2</sub>O 排出量インベントリ

#### 4. 結論

本研究では、2001 年のアジア地域を対象として、人為起源のうち、エネルギー消費由来、農業・畜産業由来の環境負荷物質の排出量を推計し、ArcGIS を用いて排出量を空間的に配分することでアジア地域における排出量インベントリを作成した。以下に、結果のまとめを示す。

- 2001 年のアジア地域におけるエネルギー消費由来と農業・畜産業由来の NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の総排出量はそれぞれ 31.1(Tg), 29.5(Tg), 6026.2(Tg)、また、農業・畜産業由来の CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O の総排出量は 69.4(Tg), 15.0(Tg), 3425.8(Gg)であり、これらの半分以上は中国、インドの 2 カ国から排出されている。
- NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> の排出量は都市部に集中する傾向が見られ、エネルギー消費による影響が大きい。また、農業・畜産業由来の CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O の排出量はインドの北部において非常に大きいことが分かった。

#### 文献)

Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C(2006): <http://eng/coa.gov.tw/index.php>

EMEP/CORINAIR(2006): Emission Inventory Guidebook.

European Commission Joint Research Centre(2004): Global Land Cover 2000 Database.

FAO(2003): FAO Statistical Databases-Agriculture, Fisheries, Forestry and Nutrition(CD-ROM).

FAO(2005): FAO Statistical Databases-Agriculture, Fisheries, Forestry and Nutrition(CD-ROM).

FAO Geonetwork(2004): <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>

Google Earth: <http://earth.google.co.jp/>

IFA/IFDC/FAO(1999): Fertilizer use by crop fourth edition.

IFA/IFDC/FAO (2002): Fertilizer use by crop fifth edition.

我部山彰則, 松岡譲(2006): 世界主要国における二酸化炭素排出量に関する計量経済モデルの構築, 京都大学環境衛生工学研究会第 28 回シンポジウム講演論文集, 133-136

National Geospatial Intelligence Agency(1995): VECTOR SMART MAP(VMAP) Level0

Oak Ridge National Laboratory(2003): LandScan Global Population Database, 2003

Olivier, J.G.J., J.A. vanAardenne, F. Dentener, L. Ganzeveld and J.A.H.W. Peters (2005): Recent Trends in Global Greenhouse Gas Emissions: Regional Trends and Spatial Distribution of key Sources, Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases NCGG-4, Millpress, 325-330.

SAGE: Center for Sustainability and the Global Environment, <http://www.sage.wisc.edu/index.html>

Streets, D.G., T.C. Bond, G.R. Carmichael, S.D. Fernandes, Q. Fu, D. He, Z. Klimont, S.M. Nelson, N.Y. Tsai, M.Q. Wang, J.-H. Woo and K.F. Yarber (2003): An Inventory of Gaseous and Primary Aerosol Emissions in Asia in the Year 2000, *Journal of Geophysical Research*, **108**(D21), 8809.

World Gazetteer HP: <http://www.world-gazetteer.com/>