

中国における地域別 CO₂, NO_x 排出量：推計と分析

時政 勗・張 宏武

(受付 2001年10月10日)

1 はじめに

周知のように、中国では、経済の成長に伴って、環境問題も益々深刻になってきた。特に CO₂, NO_x, SO_x のような大気汚染物質の排出は、世界の環境問題にも繋がっている。一方、広大な人口規模と広い面積を持つ中国では、自然、経済、社会の条件はさまざまであり、地域間の格差がかなり大きい。その中で、環境汚染問題も同様、地域格差が存在していると考えられる。中国における環境汚染の地域格差に関する研究は、環境対策立案や対策技術の効果の評価に不可欠である。しかし、中国国内の経済発展、所得水準などに関する地域格差の研究が多数見られているが、環境汚染に関する地域性の計測を試みる研究はあまり行われていない。従来の中国の環境問題に関する研究は、マクロ的観点からの研究やケーススタディなどが主に行われてきている。中国全土において、系統的な地域別の研究は極めて少ない。

このような現状の発生した原因の一つとして、中国の地域環境問題の研究が、特に困難であるという状況がある。それは、中国の統計データ、特に環境の基礎統計データの未整備が主な原因である。さらに、各地域レベルの環境データの入手は一層難しい。

このような問題意識に基づいて、本研究では、まず、中国のエネルギー消費データを利用して、大気汚染物質の CO₂, NO_x の排出量を省別・部門別に推計した。次に環境汚染の地域性を明らかにすると共に、そうした地域性が生じる原因及び各地域排出量変化の要因について検討した。

2 地域別・部門別大気汚染物質排出量の推計

中国において、1995年、1996年の29の省（直轄市、自治区）、7の消費部門、14種類のエネルギー消費データが「中国能源統計年鑑」に掲載されている（チベットのデータが取れなかったため、推計しなかった）。本推計では、エネルギー消費量としてこのデータを用いた。そして、各省大気汚染物質の排出量は、燃料消費量に燃料別、部門別の排出係数を乗ずることにより算出した。この排出係数は燃料の種類による炭素、窒素分の含有率や燃料消費のカ

テゴリーによる燃焼方法で大きく異なる。本研究で利用した排出係数は、科学技術庁科学技術政策研究所（参考文献 [4]）の成果を用いた。

3 大気汚染物質排出量の推計結果及び地域性考察

要因分析のため、以下では1995年の大気汚染物質排出量を例にして、中国の各省における大気汚染の地域格差を明らかにする。

(1) 省別大気汚染物質排出総量（表1、図1）

CO₂とNO_xは、かなり似たような結果が出ている。排出量の多い省としては、遼寧、河北、山東、江蘇、四川、山西、河南、広東などの省である。これらは、沿岸部に位置する省が多い。概ね汚染排出の多い地域は、経済・人口規模の大きい省、または重化学工業構造を持つ省であることが分かった。排出の地域格差は、省レベルでCO₂が40倍、NO_xが約30倍、これらの格差は、GDP格差の35倍と比べると、ほぼ同程度である。

一方、排出量の少ない省としては、CO₂とNO_xは、海南、青海、寧夏、福建、雲南、広西、甘肅、江西、新疆などのような経済力が弱い省で、かつ内陸部に位置する省が多い。

表1 中国の省別大気汚染物質排出量（1995）

省	CO ₂ 排出量	NO _x 排出量	省	CO ₂ 排出量	NO _x 排出量
	万 t-c	万 t-NO _x		万 t-c	万 t-NO _x
遼寧	6,253.5	81.5	河 南	4,315.0	62.0
吉 林	2,851.8	40.0	湖 北	3,540.1	48.2
黒龍江	3,581.9	51.7	湖 南	3,327.1	44.6
北 京	1,928.1	25.1	広 東	4,226.9	65.8
天 津	1,713.9	22.1	広 西	1,497.2	22.3
河 北	6,111.9	81.3	海 南	156.8	2.9
山 西	4,427.9	68.4	陝 西	2,016.4	28.9
内 蒙 古	2,398.4	36.9	甘 肅	1,544.2	20.7
上 海	2,861.5	39.7	青 海	323.6	3.8
江 蘇	5,497.0	83.1	寧 夏	496.1	8.2
浙 江	2,841.4	43.5	新 疆	1,704.7	19.8
安 徽	2,877.4	40.7	四 川	4,997.2	63.4
福 建	1,137.7	17.2	貴 州	2,008.8	22.5
江 西	1,677.8	23.0	雲 南	1,445.1	18.6
山 東	5,547.3	81.5	全国合計	83,306.6	1,167.1

出所：国家統計局，中国能源統計年鑑，1991～1996，中国統計出版社，1998年より推計

中国における地域別 CO₂, NO_x 排出量：推計と分析

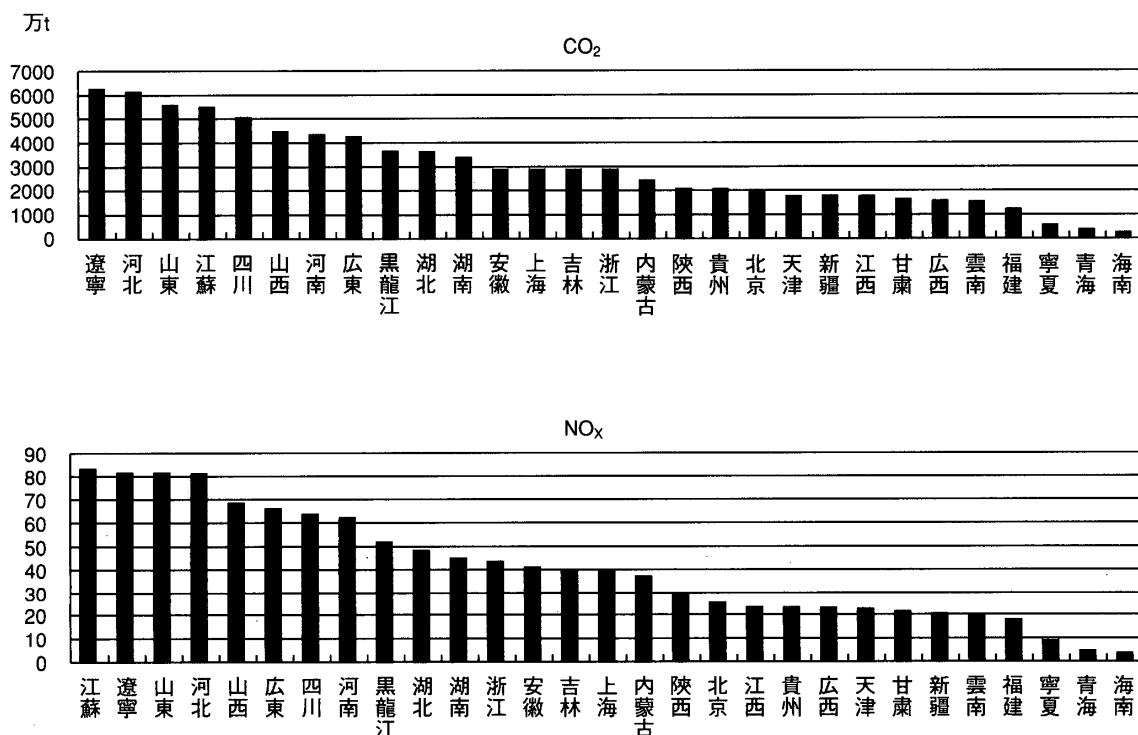


図1 中国の省別大気汚染物質排出量

出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑，1991～1996，中国統計出版社，1998年

②国家統計局国民経済総合統計司，新中国五十年統計資料匯編，中国統計出版社，1999年より推計，作成

(2) 省別一人あたり大気汚染物質排出量 (図2)

CO₂とNO_xの一人あたり排出量は，上海，天津，北京のような直轄市と遼寧，山西などのような重化学構造をもつ省の排出量が多い。特に上海の一人あたり指標は，2つの大気汚染物質ともトップの位置にきている。ただ，一人あたりで見た各省レベルの格差は，CO₂が10倍，NO_xが約8倍で，それぞれの大気汚染物質排出総量の格差から比べると，それほど大きくはない。

(3) 省別GDPあたり大気汚染物質排出量 (図3)

GDPあたり汚染物質排出量は汚染(排出)濃度又は汚染(排出)原単位と呼ばれているもので，各地域の経済活動と結び付いている指標である。図3に示すように，山西省が最も多い，一番少ない海南省のそれぞれ9.4倍，8倍になっている。それに続くのは，貴州，寧夏，内蒙古，甘肅のような西部内陸の経済水準の低い省である。

(4) 省別面積当たり大気汚染物質排出量 (図4)

中国では，各省の面積の格差はかなり大きいため，面積あたり大気汚染物質排出量の省レベルの格差は非常に大きい。それは主に面積の狭い上海，北京，天津の直轄市と広い面積を

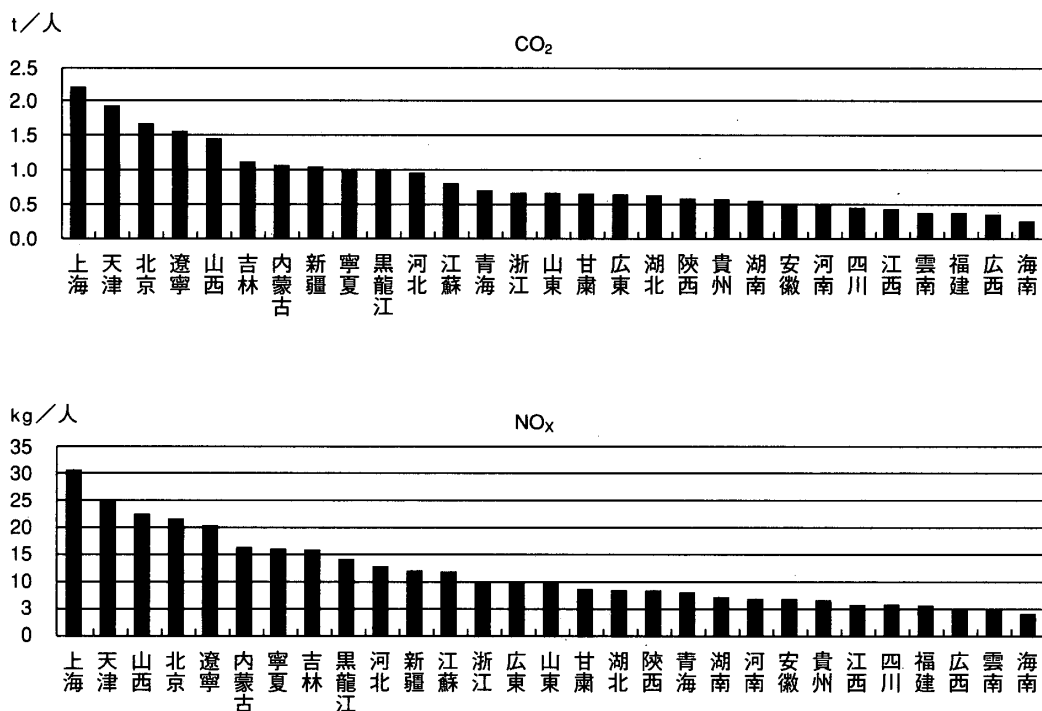


図2 中国の省別一人あたり大気汚染物質排出量
出所：図1と同じ

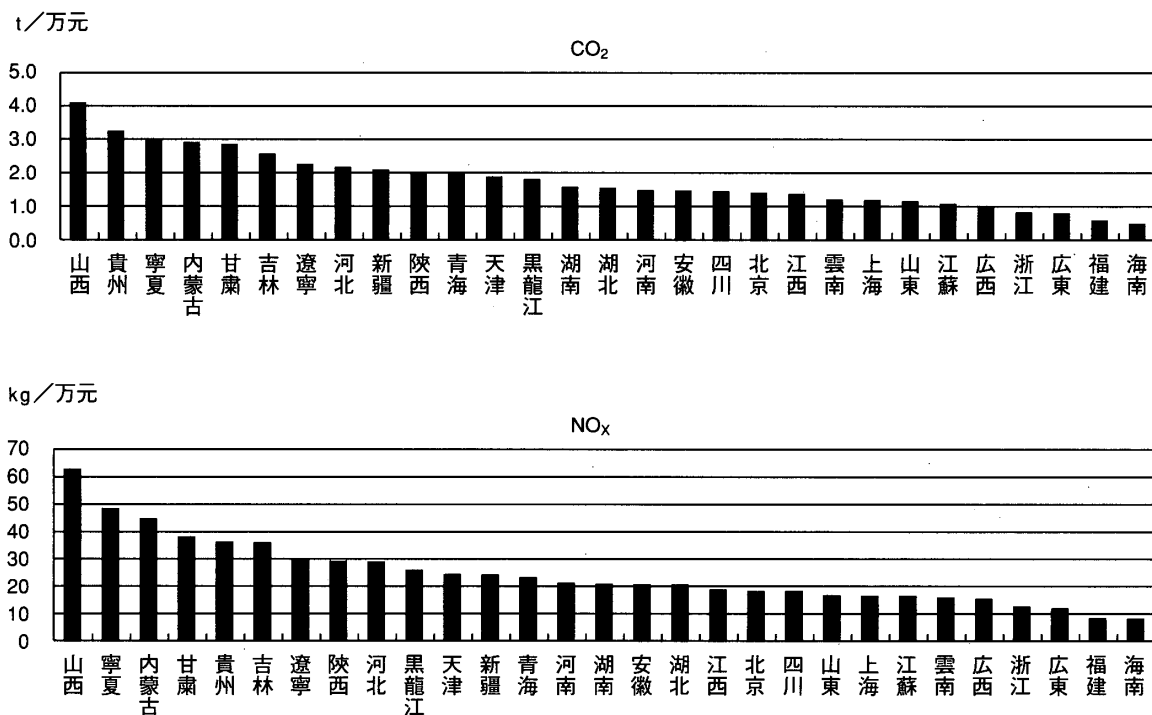


図3 中国の省別単位GDPあたり大気汚染物質排出量
出所：図1と同じ

中国における地域別 CO₂, NO_x 排出量：推計と分析

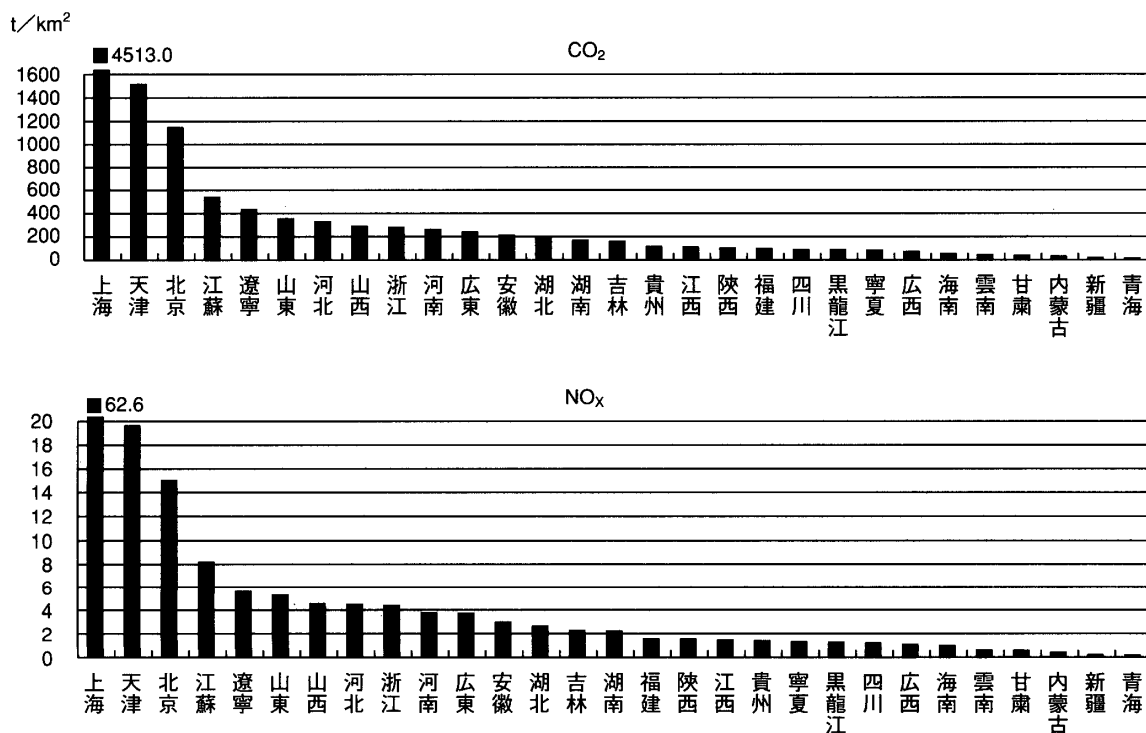


図4 中国の省別面積あたり大気汚染物質排出量

出所：①国家統計局，中国能源統計年鑑，1991～1996，中国統計出版社，1998年
 ②中国研究所編，中国年鑑・1997，より推計，作成

持つ新疆，青海，内モン古のような西部の省の格差が大きいためである。

(5) 省別エネルギー消費当り大気汚染物質排出量 (図5)

エネルギー消費あたり大気汚染物質排出量は，主に各地域のエネルギー消費構成に影響される。その地域格差は CO₂ が1.6倍，NO_x が約2倍で各指標の中で，格差が最も小さい。比較的値の高いのは，内モン古，寧夏，山西，黒龍江のような石炭産地で，汚染排出の多い石炭の利用割合が大きいためである。

(6) 省別大気汚染物質排出の部門構成 (図6)

各部門の大気汚染物質排出を見るとき，工業部門からの排出は注目すべきであろう。それは，中国の商業，サービス業，運輸業などの第3次産業は未発達の状態にあり，工業部門からの排出は比較的が多いからである。図6は大気汚染物質排出量の部門別割合を示したものである。これを見ると，多くの省において，工業部門のほかに，発電をはじめとするエネルギー転換部門の排出割合も大きい。電力が各部門に利用され，電力の利用によって，各部門が間接的な汚染排出をしている。本来ならば，エネルギー転換部門から排出された汚染物質

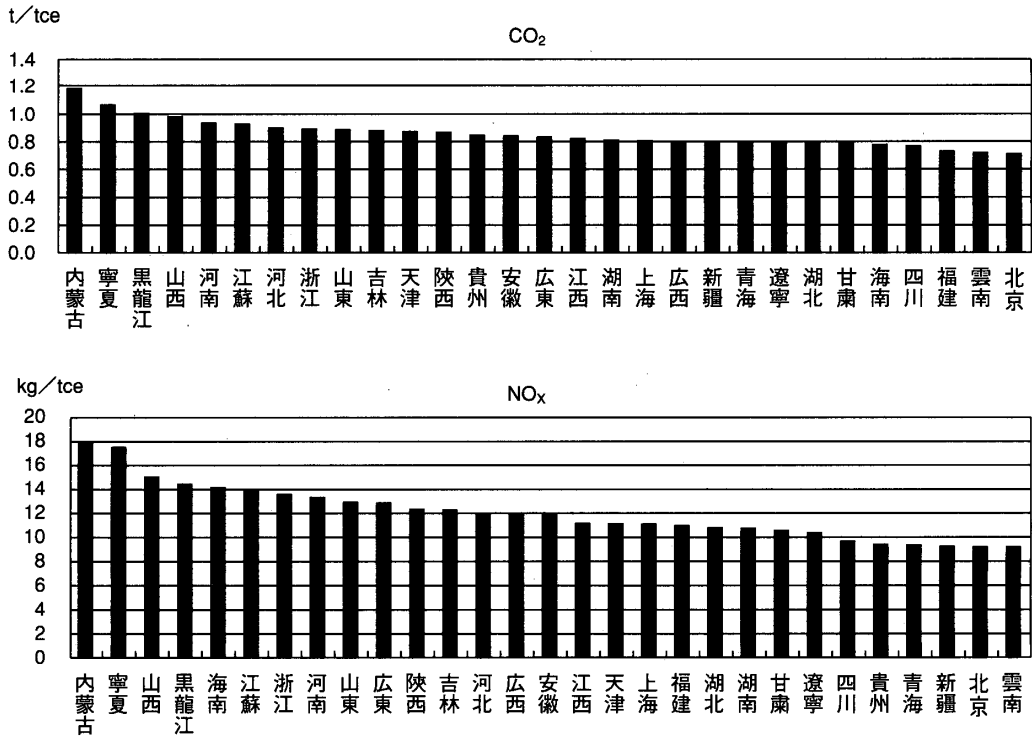


図5 中国の省別エネルギー消費あたり大気汚染物質排出量
 出所：国家統計局，中国能源統計年鑑，1991～1996，中国統計出版社，1998年
 より推計，作成

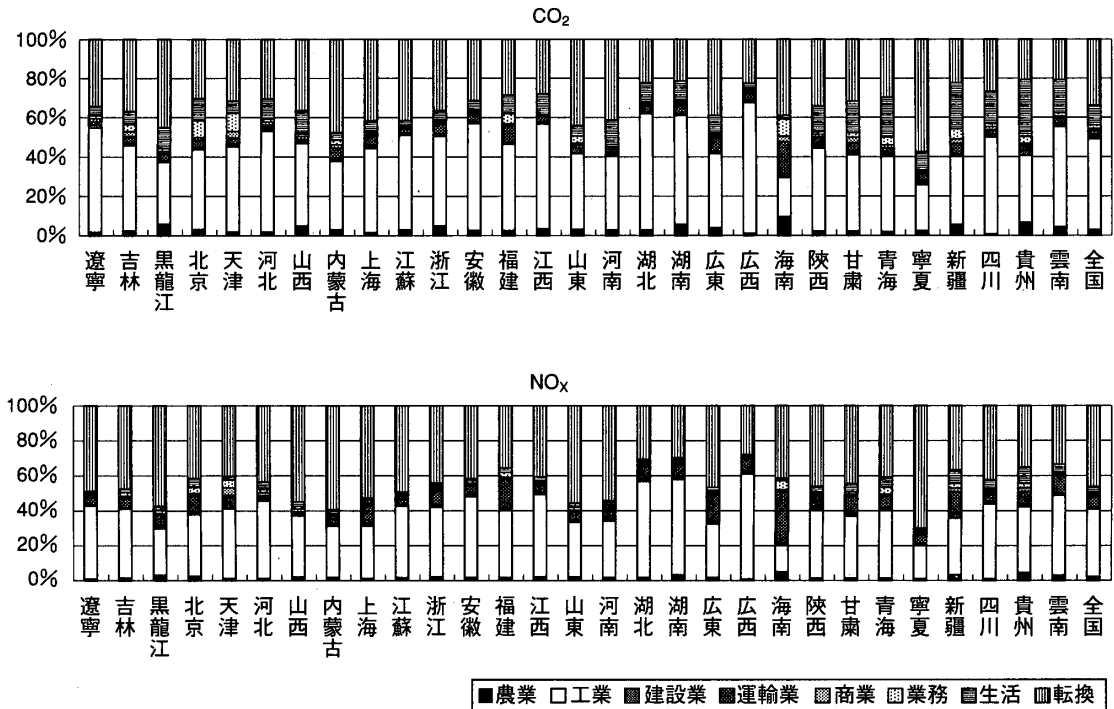


図6 中国の省別大気汚染物質排出の部門構成
 出所：国家統計局，中国能源統計年鑑，1991～1996，中国統計出版社，1998年
 より推計，作成

は各部門に振り分けるはずであるが、詳しい電力利用の統計データが得られなかったため、本推計はそのまま転換部門を設けた。この転換部門の排出量をどのようにして各部門に振り分けるかは今後の課題にしたい。

(7) 省別大気汚染物質排出のエネルギー源構成 (図7)

中国全土では、エネルギー消費構成は石炭消費が最も多いため、大気汚染物質は石炭からの排出が最も多い。図7は省別の大気汚染物質排出のエネルギー源構成を見たものである。これを見ると、何れの省においても石炭からの排出量が多い。比較的に石油からの排出が多いのは、経済発展の速いかつ石炭資源が乏しい東南部の広東、海南、福建、上海などの諸省及び石油産地の東北地域、華北沿岸地域、西部の新疆などの諸省である。

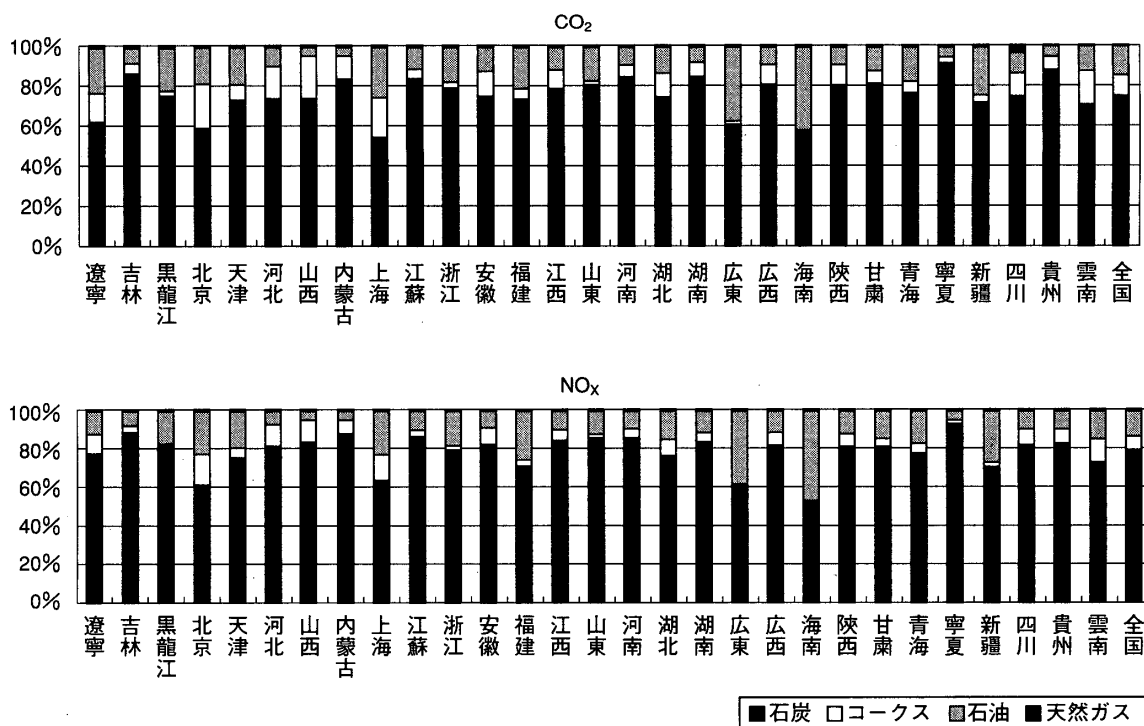


図7 中国の省別大気汚染物質排出量のエネルギー源構成
出所：国家統計局，中国能源統計年鑑，1991～1996，中国統計出版社，1998年
より推計，作成

4 省別大気汚染物質排出量の格差を生ずる原因について

中国の大気汚染物質排出量の省別格差を分析する際、上で取り上げた各省の排出総量，一人あたり排出量，GDP 当り排出量，エネルギー消費当り排出量，面積当り排出量などの指標

が考えられる。ここで、中国の各地域での汚染排出の違いを明らかにするのが主な目的で、面積当たり排出量、一人あたり排出量と GDP あたり排出量の指標を選んだ。

以下では、1995年において各省大気汚染排出のクロスセクション要因分解の方法を説明しよう。基本的には全国平均の汚染排出指標を基準にして、各省においての各要因がどれほど離れているかを見ることにする。

(1) 要因の分解

ここで、地域 i の大気汚染物質排出量を C_i 、エネルギー消費を E_i 、工業部門のエネルギー消費を e_i 、工業部門の付加価値を y_i 、地域内総生産 (GDP) を Y_i 、人口を P_i 、面積を S_i とすると、面積あたりの大気汚染物質排出量は、以下のように表わせる。

$$\frac{C_i}{S_i} = \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{y_i} * \frac{y_i}{Y_i} * \frac{Y_i}{P_i} * \frac{P_i}{S_i}$$

ただし

C_i/E_i : エネルギー消費 1 単位あたりの大気汚染排出量 (エネ源要因と呼ぶ)

E_i/e_i : 全エネルギー消費のうち、工業部門エネルギー消費量の比重の逆数 (工業エネ消費要因と呼ぶ)

e_i/y_i : 工業付加価値 1 単位当りエネルギー消費量 (工業エネ効率要因と呼ぶ)

y_i/Y_i : 国内総生産 (GDP) のうち、工業部門付加価値の比重 (工業構造要因と呼ぶ)

Y_i/P_i : 一人あたり GDP (経済要因と呼ぶ)

P_i/S_i : 面積 1 単位当り人口数 (人口要因と呼ぶ)

ここで、これらの指標の各省の値と全国平均の値の差 Δ は、ある要因の省別の値から全国平均の値を引いたものとする

$$\begin{aligned} \Delta\left(\frac{C_i}{S_i}\right) &= \Delta\left(\frac{C_i}{E_i}\right) * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{y_i} * \frac{y_i}{Y_i} * \frac{Y_i}{P_i} * \frac{P_i}{S_i} \\ &+ \frac{C_i}{E_i} * \Delta\left(\frac{E_i}{e_i}\right) * \frac{e_i}{y_i} * \frac{y_i}{Y_i} * \frac{Y_i}{P_i} * \frac{P_i}{S_i} \\ &+ \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \Delta\left(\frac{e_i}{y_i}\right) * \frac{y_i}{Y_i} * \frac{Y_i}{P_i} * \frac{P_i}{S_i} \\ &+ \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{y_i} * \Delta\left(\frac{y_i}{Y_i}\right) * \frac{Y_i}{P_i} * \frac{P_i}{S_i} \\ &+ \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{y_i} * \frac{y_i}{Y_i} * \Delta\left(\frac{Y_i}{P_i}\right) * \frac{P_i}{S_i} \\ &+ \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{y_i} * \frac{y_i}{Y_i} * \frac{Y_i}{P_i} * \Delta\left(\frac{P_i}{S_i}\right) \end{aligned}$$

となる。

以上の式から、面積当りの大気汚染物質排出量の地域格差は、エネ源要因、工業エネ要因、エネ効率要因、構造要因、経済要因、人口要因の6つの要因変化に分解することができる。

また、工業部門の産出額を Q_i で表し、一人あたり大気汚染物質排出量は

$$\frac{C_i}{P_i} = \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{Q_i} * \frac{Q_i}{y_i} * \frac{y_i}{Y_i} * \frac{Y_i}{P_i}$$

で表わせる。

ただし

e_i/Q_i ：工業産出額1単位当りエネルギー消費量（工業エネ効率要因と呼ぶ）

Q_i/y_i ：工業産出額と工業GDPとの比率（工業付加価値率要因と呼ぶ）

さらに、工業部門の従業人数を L_i で表し、GDPあたり大気汚染物質排出量は

$$\frac{C_i}{Y_i} = \frac{C_i}{E_i} * \frac{E_i}{e_i} * \frac{e_i}{y_i} * \frac{y_i}{L_i} * \frac{L_i}{P_i} * \frac{P_i}{Y_i}$$

で表すことが出来る。

y_i/L_i ：工業部門従業者一人あたり付加価値（工業生産性要因と呼ぶ）

L_i/P_i ：総人口のうち、工業部門従業者の比率（工業人口要因と呼ぶ）

P_i/Y_i ：一人あたりGDPの逆数（経済要因と呼ぶ）

(2) 各要因相乗効果の分析方法

要因相乗効果の分析方法については、参考文献 [5] 吉岡・新井の考え方で行ったが、ここで地域別分析に適用した我々のモデルにおける計算方法を文末補論で示す。

(3) 結果の考察

以上の方法で計算した結果、単一要因だけの効果は大部分の効果を説明できるが、まだ説明できない部分、すなわち、残差が大きく残っている。それは、2要因の相乗効果、3要因の相乗効果…によるものと考えられる。そして、相乗効果を加えていくにつれ、この残差部分は段々小さくなっていく。ここで、紙面節約のため、CO₂のみについて述べていくことにするが、NO_xについても大体同じ傾向が見られた。

A. 単一要因の効果を見た場合

a. 面積あたりCO₂排出の要因分解（図8）

要因別に見ると、人口要因と経済要因及び工業エネルギー効率要因の3つの要因に大きく働いている。それ以外のエネ源要因、工業エネ消費要因と工業構造要因は各地域において、比較的全国平均からの乖離の影響は小さい。

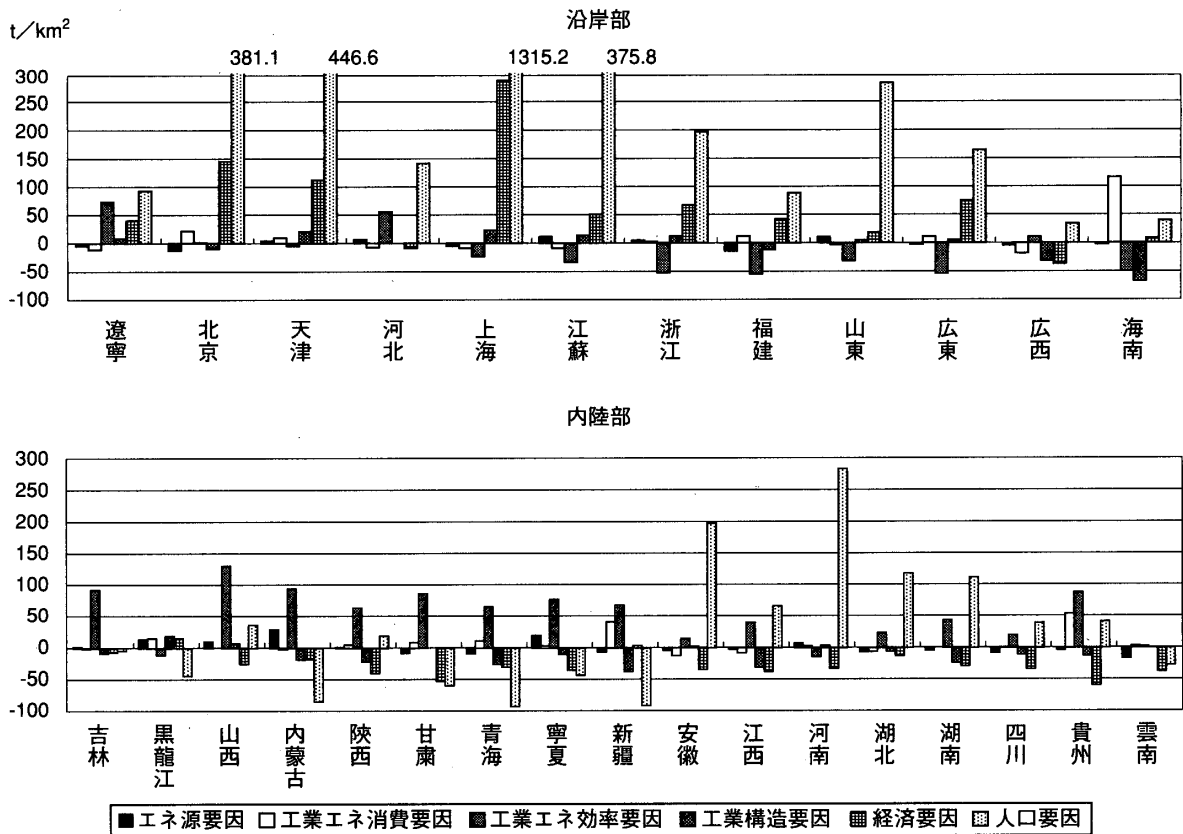


図8 1995年省別の面積当たりCO₂排出の要因分解

出所：①国家统计局，中国能源统计年鉴・1991～1996，中国统计出版社，1998年
 ②国家统计局国民经济综合统计司，新中国五十年统计资料汇编，中国统计出版社，1999年
 ③中国研究所编，中国年鉴・1997
 より計算，作成

省別に見ると、まず、上海は中国で最も人口密度の大きい経済大省として、ほかの省と比べると、著しく異なる特性を持っていることが分かる。中国の1995年における面積当たり大気汚染物質排出の地域性は以下のようにまとめることができよう。

まず、沿岸部と内陸部に分けて見てみよう。沿岸部ではすべての省において人口要因が汚染の排出にプラス要因になっている。しかも、広西、海南を除けば、その値は大きい。一方、経済要因は河北と広西を除いて、プラス要因となっている。その中で、とりわけ上海の人口要因と経済要因の二つの要因はほかの省より飛びぬけて、大きな値となっている。ここで、沿岸部の大気汚染物質の排出は、概ね経済と人口によるものが窺える。これに対して、内陸部においては、逆に経済要因は黒龍江、新疆の僅かのプラスを除けば、すべてマイナスになっている。一方、工業エネ効率要因は黒龍江、河南省を除けば、すべてプラスになっており、エネルギー効率の悪さが目立っている。特に北部の諸省と貴州の値が大きい。総じていえば、内陸部の大気汚染排出は主としてエネルギー効率の悪さによるものと見ることができる。

次に、沿岸部と内陸部をさらにそれぞれ北方と南方に分けて見た場合、内陸部の人口要因は南方諸省において大きなプラスの働きをしているのに対して、北方諸省ではほとんど大きなマイナスの働きになっている。一方、沿岸部のエネ効率要因は南方諸省におけるマイナスの働きに対して、北方の諸省はほとんどプラスの働きになっている。

b. 一人あたり CO₂ 排出の要因分解 (図 9)

面積あたり排出の要因分解と同じ、沿岸地域と内陸地域との違いがはっきり見える。また南部諸省と北部諸省の違いは次の次元でとらえる。

まず、沿岸部においては、経済要因が大きなプラス要因となっていて、特に上海は他の省より遥かに大きい値を持っている。その他に、工業エネルギー効率要因については、南部地域のマイナスの働きに対し、北部は逆にプラスの働きとなっている。また、工業付加価値率要因は南部地域にはプラスの働きが多かったが、北部にはマイナスの働きが多い。

一方、内陸部においては、工業エネルギー効率要因は大きなプラスの働きになっている。特に北部の各省及び貴州の値が大きい。これと対照的になったのは、経済要因のマイナスの働きである。それに工業付加価値率要因もほぼマイナスになっている。

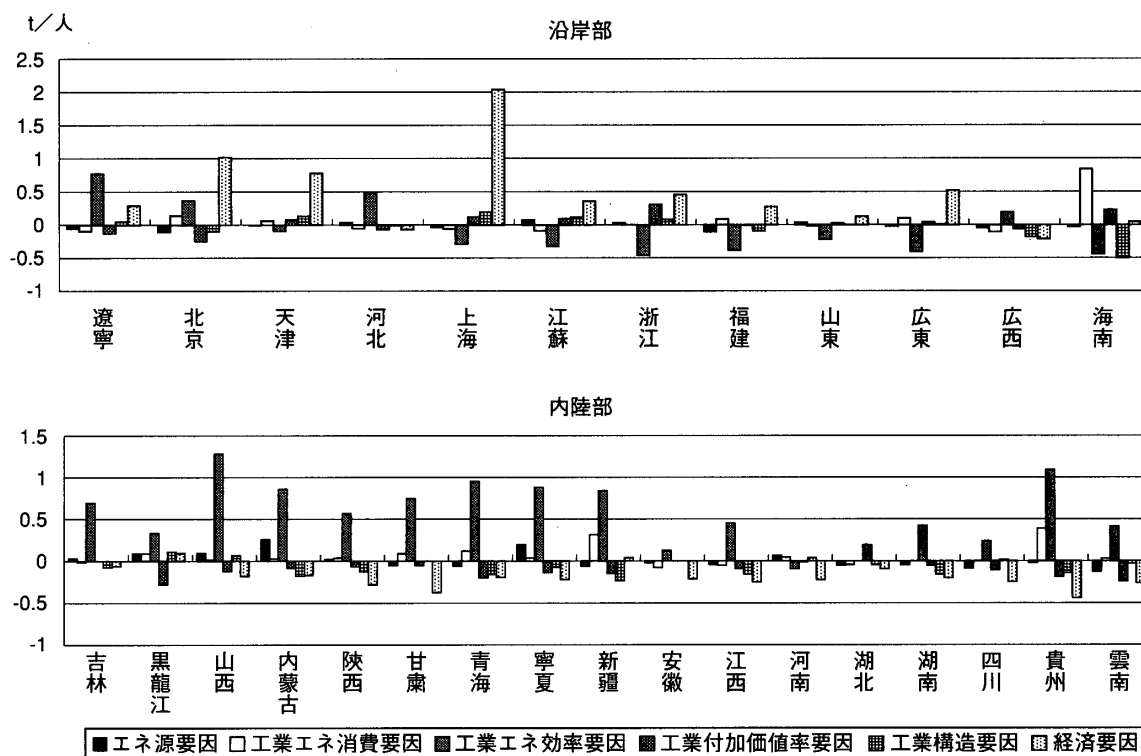


図 9 1995年省別の一人あたり CO₂ 排出の要因分解
出所：図 8 と同じ

c. GDP あたり CO₂ 排出の要因分解 (図10)

沿岸部と内陸部の経済要因の違いについては、ここでの経済要因は一人あたり GDP の逆数で表しているから、今度は沿岸部はマイナス、内陸部はプラスの働きになっている。工業生産性要因と工業人口要因については、沿岸部はプラスの働きをしている省が多く、これに対し、内陸部はマイナスの働きをしている省が多い。

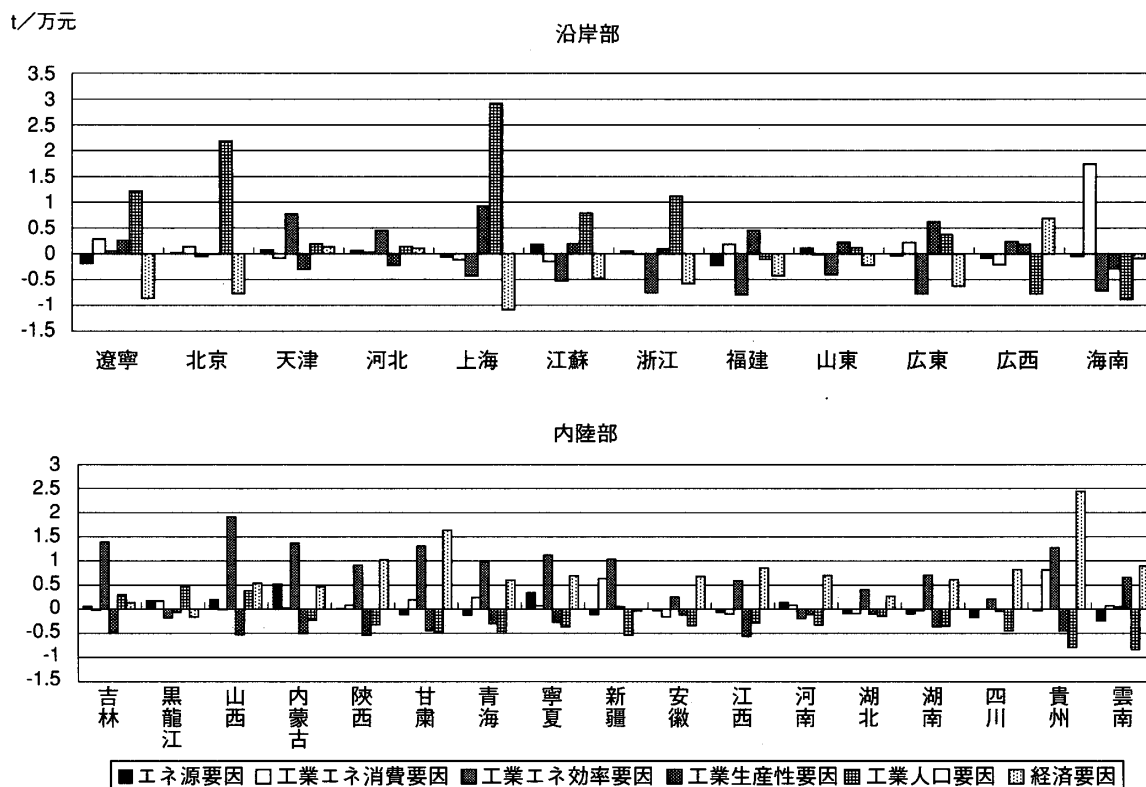


図10 1995年省別付加価値当り CO₂ 排出の要因分解
出所：図8と同じ

B. 多要因の相乗効果を見た場合

ここで、単一要因効果だけでなく、多要因の相乗効果についても見ていくことにする。要因分析において、相乗効果を見ることはあまり行われませんが、単一要因分析だけでは、不十分であることが次のように見られる。図11に示される面積あたり CO₂ で見ても、各省とも単一要因で 1 に近づくことはあまり起こらず、かなり小さい値を取っており、2 要因以上の効果が、1 を超えた値を取るケースが多く見られる。全国平均で見ても、単一要因の値が -0.86、2 要因相乗で 1.86、3 要因相乗は 0.07 と通常の各構成要因のウェイト表示とは異なる状況を示している。大体 2 要因相乗の場合では大きな相乗効果を持つ省があるが、4 要因以上の相乗効果はいずれの省においても小さくなっている。

中国における地域別 CO₂, NO_x 排出量：推計と分析

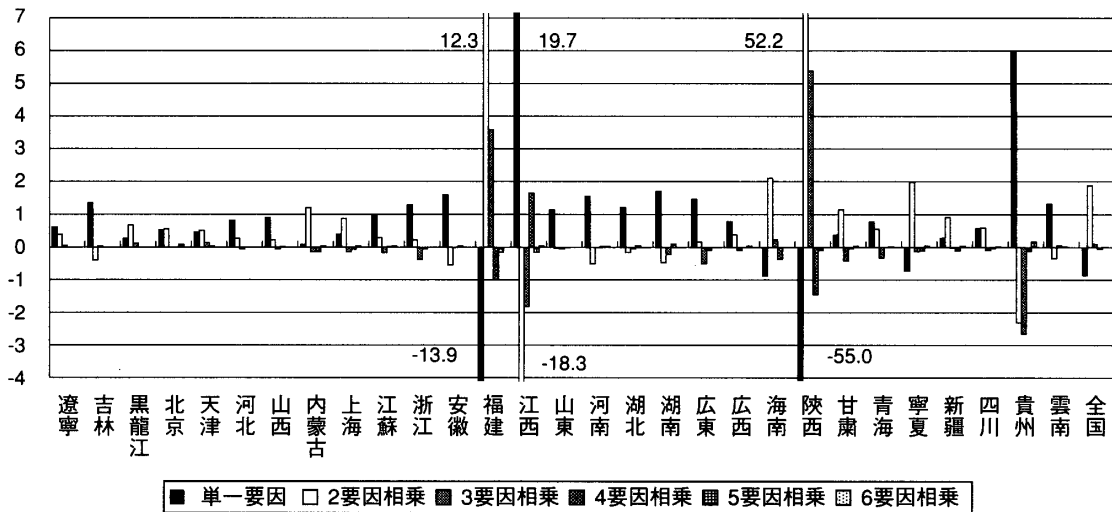


図11 単一要因と多要因相乗効果の寄与率（面積当たり CO₂ 排出）
出所：図 8 と同じ

ここで、2 要因の相乗効果を面積あたり CO₂ 排出に関して見ることにする（図12）。まず、上海の相乗効果が極めて大きいことに気づく。その中で、単一要因で見た両要因ともプラスになっていて、一番大きい人口要因（F）と2番目に大きい経済要因（E）の相乗効果がほかには比べられないほど、大きなプラスの働きをしている。次に、工業構造要因（D）と人口要因（F）の相乗効果の大きいプラス、それに工業エネ効率要因（C）と経済要因（E）の相乗効果の大きいマイナスも目立っている。上海のほかにも、北京と天津の両直轄市も経済と人口要因の相乗効果が大きい。

また、内陸部の貴州省においては、工業エネ消費要因（B）と工業エネ効率要因（C）の相乗、工業エネ効率（C）と経済要因（E）の相乗も大きいマイナスの働きをしている。

5 地域別大気汚染物質排出量変化の要因分析

以上では、1995年の時点に固定して、中国における異なる地域の CO₂ 排出の特性をクロスセクション分析の方法で空間的に見てみた。以下では、時間の変化に伴って、同じ地域の CO₂ 排出の特性を時系列分析の方法で見てみよう。

ただし、本節では、前節のように総変化を単一要因変化と相乗効果に分けて見るのではなく、交絡項の値をできるだけ取り上げている要因に帰着させて、交絡項の値を小さくしていく方法として考えられている Simple Average Divisia method を重複適用する方法に依拠する。ここで、大気汚染物質排出量を C、エネルギー消費を E、国内総生産（GDP）を Y とすると、以下のような式が得られる（i は地域を表す添え字として）。

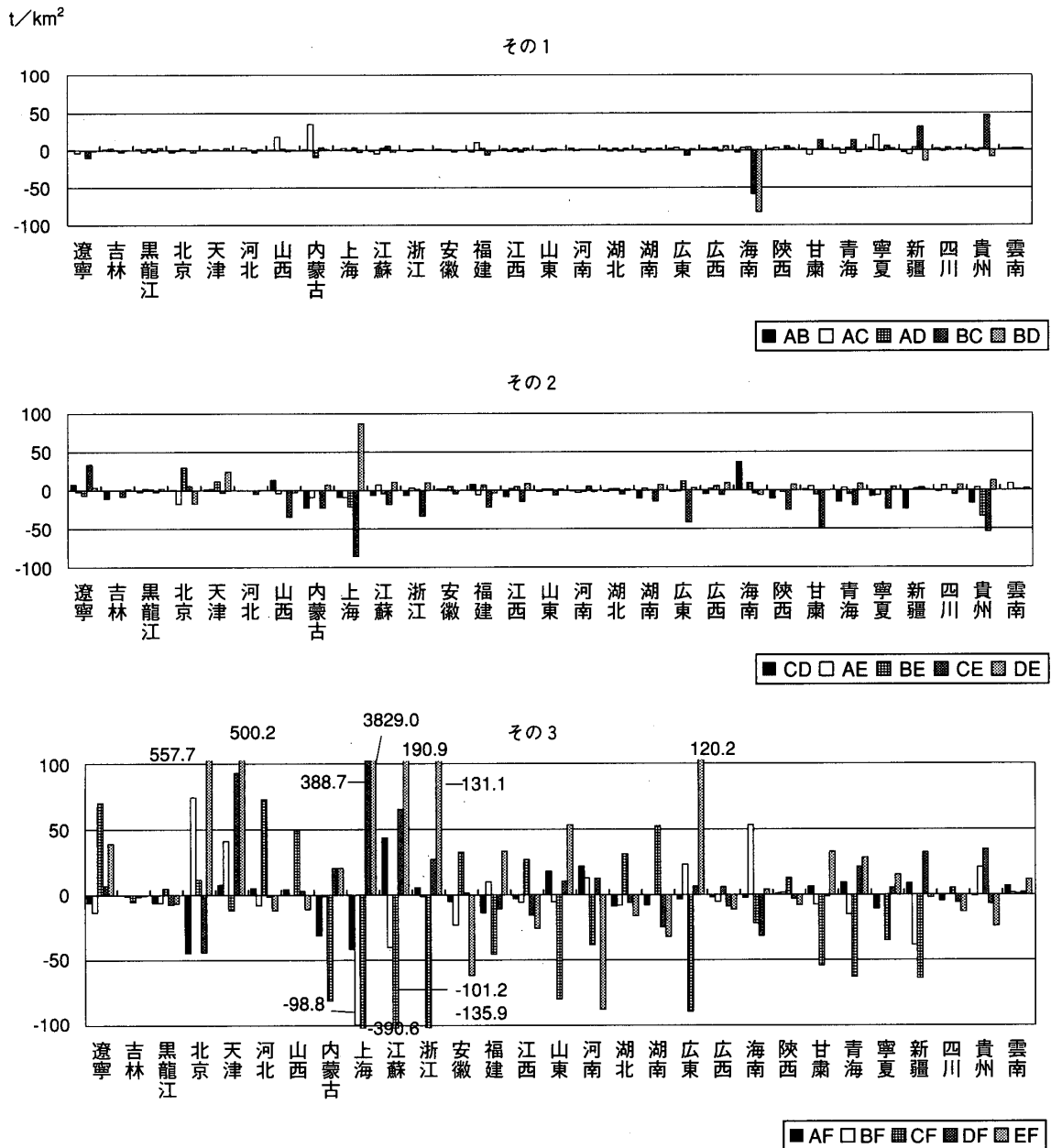


図12 面積あたり CO₂ 排出の 2 要因相乗効果
出所：図 8 と同じ

$$C_t = \sum_i C_{it} = \sum_i \frac{C_{it}}{E_{it}} \times \frac{E_{it}}{Y_{it}} \times \frac{Y_{it}}{Y_t} \times Y_t$$

ただし

C_{it}/E_{it} : t 年における i 地域のエネルギー消費あたりの汚染排出量

E_{it}/Y_{it} : t 年における i 地域の GDP 当りエネルギー消費量

Y_{it}/Y_t : t 年における i 地域の GDP の全国 GDP に対する比重

Y_t : t 年における全国の GDP

このとき, $P_{it} = C_{it}/E_{it}$ $I_{it} = E_{it}/Y_{it}$ $S_{it} = Y_{it}/Y_t$

とおくと, 上の式は

$$C_t = \sum_i P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t$$

に書き換えられる。

これを微分すると, 以下のようなになる。

$$C_t' = \sum_i P_{it}' \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t + \sum_i P_{it} \times I_{it}' \times S_{it} \times Y_t \\ + \sum_i P_{it} \times I_{it} \times S_{it}' \times Y_t + \sum_i P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t'$$

上の式を (0, T) 区間で積分すると, 以下の式が得られる。

$$\Delta C_t = C_T - C_0 \\ = \sum_i \int_0^T P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t \times \left(P_{it}' / P_{it} \right) dt + \sum_i \int_0^T P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t \times \left(I_{it}' / I_{it} \right) dt \quad \textcircled{A} \\ + \sum_i \int_0^T P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t \times \left(S_{it}' / S_{it} \right) dt + \sum_i \int_0^T P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t \times \left(Y_t' / Y_t \right) dt$$

ここで $P_{it} \times I_{it} \times S_{it} = C_{it}/Y_t$

さて

$$\hat{k}_i = C_{i0}/Y_0 + \frac{1}{2} (C_{iT}/Y_T - C_{i0}/Y_0)$$

とおくと, 以下の式が得られる。

$$P_{it} \times I_{it} \times S_{it} \times Y_t = \hat{k}_i Y_t$$

これを式 ① に代入して, 以下の式が得られる。

$$\Delta C = \sum_i \hat{k}_i \int_0^T Y_t d \ln P_{it} + \sum_i \hat{k}_i \int_0^T Y_t d \ln I_{it} \quad \textcircled{B} \\ + \sum_i \hat{k}_i \int_0^T Y_t d \ln S_{it} + \sum_i \hat{k}_i \int_0^T Y_t' dt$$

さて, 直上式右辺第 1 項の積分について

$$\int_0^T Y_t d \ln P_{it} = Y_t \ln P_{it} \Big|_0^T - \int_0^T Y_t' \ln P_{it} dt \\ = Y_T \ln P_{iT} - Y_0 \ln P_{i0} - \int_0^T Y_t' \ln P_{it} dt \\ = \ln (P_{iT})^{Y_T} / (P_{i0})^{Y_0} - \int_0^T Y_t' \ln P_{it} dt$$

ところで, 通常の Simple Average Divisia method と異なり, 我々の方法では, さらにもう一度 $\ln P_{it}$ 関数や, $\ln I_{it}$, $\ln S_{it}$ 関数に Simple Average Divisia method を適用する。

ここで

$$\hat{P}_i = \ln P_{i0} + \frac{1}{2} (\ln P_{iT} - \ln P_{i0}) = \frac{1}{2} (\ln P_{i0} + \ln P_{iT}) \quad \text{とおくと}$$

$$\int_0^T Y_t' \ln P_{it} dt \approx \int_0^T Y_t' \hat{P}_i dt = \hat{P}_i \int_0^T Y_t' dt = \hat{P}_i (Y_T - Y_0)$$

が得られる。

続いて、 $\ln I_{it}$ と $\ln S_{it}$ についても同様の計算を施して、結局、式③について

$$\begin{aligned} \Delta C = & \sum_i \hat{k}_i \{ \ln (P_{iT})^{Y_T} / (P_{i0})^{Y_0} - \hat{P}_i (Y_T - Y_0) \} \\ & + \sum_i \hat{k}_i \{ \ln (I_{iT})^{Y_T} / (I_{i0})^{Y_0} - \hat{I}_i (Y_T - Y_0) \} \\ & + \sum_i \hat{k}_i \{ \ln (S_{iT})^{Y_T} / (S_{i0})^{Y_0} - \hat{S}_i (Y_T - Y_0) \} \\ & + \sum_i \hat{k}_i (Y_T - Y_0) \end{aligned}$$

が得られる。ただし、

$$\hat{I}_i = \frac{1}{2} (\ln I_{i0} + \ln I_{iT})$$

$$\hat{S}_i = \frac{1}{2} (\ln S_{i0} + \ln S_{iT})$$

以上の式から、大気汚染物質排出量の変化は、エネ源変化（上式の第1項）、エネ消費原単位変化（第2項）、地域構造変化（第3項）、経済成長（第4項）の4つの項に分解することができる。

ここで、データ制約のため、1995年から1996年の1年間の変化要因だけを見てみた。時系列として短すぎるとは承知しているが、計算方法としての試みに意味があろう。今後データの整備を待って、一層拡充したい。

上述のように、大気汚染物質排出量の変化は、エネ源要因、エネ消費原単位要因、地域構造要因、経済成長要因に分解してみた。以下では、CO₂排出量の変化を例にして見てみよう（図13）。

中国全土で1996年のCO₂排出量は1995年より1,968万トン増加した。省ごとに見ると、排出が減少したのは、遼寧、天津、江西、山東、四川、江蘇、広西の僅か7省しかなかった。その他の22省はなお増加の一途を辿っていた。

全国で増加した1,968万トンのうち、エネ源要因が644万トンのプラス、エネ消費原単位要因が7,985万トンのマイナス、地域構造要因が347万トンのマイナス、経済成長要因が9,647万トンのプラス、交絡要因が9万トンのプラスに働くという結果が出た。ここで、諸要因のうち、エネルギー消費原単位要因と経済成長要因が大きな働きをしていたことが分かる。

各省の要因別の大きさを見ると、汚染排出を大きく増加させたのは経済成長要因であった。すべての省において経済成長要因がプラスになっており、中でも遼寧、河北、江蘇、山東、四川、広東、河南、山西などの省では大きい。

一方、エネ消費原単位要因は経済要因と反対の働きをし、汚染排出の減少に大きく貢献している。海南、新疆を除く、すべての省においてエネ原単位要因がマイナスになっており、中

中国における地域別 CO₂, NO_x 排出量：推計と分析

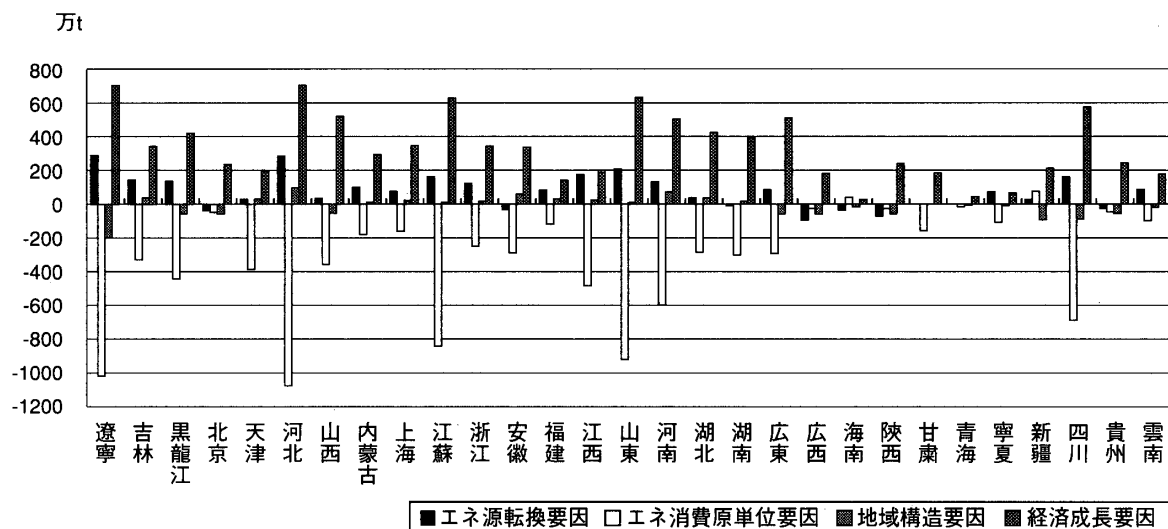


図13 中国の省別 CO₂ 排出量変化の要因分析

出所：図8と同じ

でも比較的に大きいのは、遼寧、河北、山東、江蘇、四川、河南などの省で、大体経済成長要因の強い省はエネ原単位要因も強く働いている。この二つの要因は相殺される形になっていて、どちらかの要因の強さによってこの省の汚染排出の増加または減少のタイプが決まる。

次に、汚染エネ原単位要因はそれほど大きくないが、プラスになっている地域が多い。単位エネルギー消費当り汚染排出はなかなか減少しないのが今の実情である。

最後に、全国に対する地域経済規模の変動を示す地域構造要因はあまり大きな寄与が見られていない。

6 終わりに

本稿では、まず、中国のエネルギー消費データを利用して、エネルギー源別、省別、部門別の大気汚染物質である CO₂, NO_x 排出量を推計し、各省の大気汚染物質排出総量、一人あたり排出量、GDP あたり排出量、面積あたり排出量などを通じて、中国における大気汚染物質汚染の地域性を明らかにした。

次に、この大気汚染物質汚染の地域性が生じる原因を探したところ、沿岸部地域では経済要因、人口要因、内陸部地域ではエネルギー効率要因が主に汚染排出のプラス要因であること、又、南部諸省では経済要因のプラスに対し、北部諸省ではマイナスの働きになっていること、が判明した。

さらに、時間の推移に伴う各地域大気汚染物質排出変化の諸要因のうち、エネルギー消費原単位要因と経済成長要因が大きな働きをしていたことが分かる。汚染排出を大きく増加さ

せたのは経済成長要因であったのに対し、エネ消費原単位要因は経済要因と反対の働きをし、汚染排出の減少に大きく貢献している。あとの汚染源要因と地域構造要因はあまり大きな寄与が見られていない。

補論： 要因相乗効果の計算方法について

全国平均の各要因をそれぞれ $A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0$ で表し、各省の各要因をそれぞれ $A^1, B^1, C^1, D^1, E^1, F^1$ で表すと、各省の各要因の全国平均からの乖離は次のように展開される。

ある省の上述諸要因はこの省の各要因の積から全国平均の積を引いたもので表わすと

$$\begin{aligned} & q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & = \text{単一要因の効果} + 2 \text{ 要因の相乗効果} + 3 \text{ 要因の相乗効果} + 4 \text{ 要因の相乗効果} + 5 \text{ 要因の} \\ & \quad \text{相乗効果} + 6 \text{ 要因の相乗効果} \end{aligned}$$

で表される。

その中で、単一要因効果の計算は、次のように表される。

$$\begin{aligned} & q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad (\text{A 要因}) \\ & + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad (\text{B 要因}) \\ & + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad (\text{C 要因}) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad (\text{D 要因}) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad (\text{E 要因}) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad (\text{F 要因}) \end{aligned}$$

一方、2 要因の相乗効果の場合は、

$$\begin{aligned} & \{q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{A 要因と B 要因}) \\ & + \{q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{A 要因と C 要因}) \\ & + \{q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{A 要因と D 要因}) \\ & + \{q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{A 要因と E 要因}) \\ & + \{q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{A 要因と F 要因}) \\ & + \{q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{B 要因と C 要因}) \\ & + \{q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad (\text{B 要因と D 要因}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \quad \text{(B 要因と D 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(B 要因と E 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(B 要因と F 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(C 要因と D 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(C 要因と E 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(C 要因と F 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(D 要因と E 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(D 要因と F 要因)} \\
 &+ \{q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \quad \text{(E 要因と F 要因)}
 \end{aligned}$$

で表される。

また、3 要因相乗の場合は

$$\begin{aligned}
 &\{q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \\
 &\quad \text{(A 要因と B 要因と C 要因)} \\
 &+ \{q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \\
 &\quad \text{(A 要因と B 要因と D 要因)} \\
 &+ \{q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\} \\
 &\quad \text{(A 要因と B 要因と E 要因)} \\
 &+ \{q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0)
 \end{aligned}$$

$$+q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と B 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と C 要因と D 要因)

$$+ \{q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と C 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と C 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と D 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と D 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と E 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(B 要因と C 要因と D 要因)

$$+ \{q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(B 要因と C 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(B 要因と C 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(B 要因と D 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(B 要因と D 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(B 要因と E 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\ - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(C 要因と D 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(C 要因と D 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(C 要因と E 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(D 要因と E 要因と F 要因)

で表せる。

そのうえに、4 要因の相乗効果の場合は、

$$\{q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と D 要因)

$$+ \{q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と F 要因)

$$+ \{q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

(A 要因と B 要因と D 要因と E 要因)

$$+ \{q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}$$

$$+q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}$$

(A 要因と B 要因と D 要因と F 要因)

$$+ \{ q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\ - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\ + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}$$

(A 要因と B 要因と E 要因と F 要因)

$$+ \{ q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\ - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\ - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}$$

(A 要因と C 要因と D 要因と E 要因)

$$+ \{ q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\ - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\ + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}$$

(A 要因と C 要因と D 要因と F 要因)

$$+ \{ q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\ - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\ + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\ + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\ - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\ + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}$$

(A 要因と C 要因と E 要因と F 要因)

$$+ \{ q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \}$$

$$\begin{aligned}
 & -q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 & + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(A 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 & + \{ q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 & - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 & - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(B 要因と C 要因と D 要因と E 要因)

$$\begin{aligned}
 & + \{ q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(B 要因と C 要因と D 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 & + \{ q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 & + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(B 要因と C 要因と E 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 & + \{ q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 & + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(B 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 &+ \{q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) \\
 &- q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 &- q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}
 \end{aligned}$$

(C 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

で表せる。

さらに、5 要因の相乗効果の場合は

$$\begin{aligned}
 &\{q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &- q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &- q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}
 \end{aligned}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と D 要因と E 要因)

$$\begin{aligned}
 &+ \{q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) \\
 &- q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &- q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &- q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}
 \end{aligned}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と D 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 &+ \{q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) \\
 &- q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}
 \end{aligned}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と E 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 &+ \{q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) \\
 &- q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 &- q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0)\}
 \end{aligned}$$

(A 要因と B 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 &+ \{q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) \\
 &- q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 &- q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 &- q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(A 要因と C 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

$$\begin{aligned}
 & + \{ q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^1) \\
 & - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^1, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 & + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 & + q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 & - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 & - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(B 要因と C 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

で表せる。

最後に、すべて 6 要因の相乗効果は

$$\begin{aligned}
 & \{ q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^1, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^1, F^1) \\
 & - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^1, F^1) - q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^0, F^1) \\
 & - q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^1) \\
 & + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) \\
 & + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) + q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & + q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^1, F^0) \\
 & + q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) + q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) \\
 & + q(A^1, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^1) \\
 & - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^1) - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^1) \\
 & - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) \\
 & - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^1, F^0) \\
 & - q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^1, C^1, D^1, E^0, F^0) \\
 & - q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) \\
 & - q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^1, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) - q(A^1, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 & + q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) + q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^1, F^0) + q(A^0, B^0, C^1, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^1, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^1, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^0, B^1, C^1, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) \\
 &- q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^1) - q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^1, F^0) - q(A^0, B^0, C^0, D^1, E^0, F^0) \\
 &- q(A^0, B^0, C^1, D^0, E^0, F^0) - q(A^0, B^1, C^0, D^0, E^0, F^0) + q(A^1, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \\
 &+ q(A^0, B^0, C^0, D^0, E^0, F^0) \}
 \end{aligned}$$

(A 要因と B 要因と C 要因と D 要因と E 要因と F 要因)

で表せる。

なお、ここで、2 要因からなる場合の相乗効果の計算を図14を用いて説明する。そのときの式を次のように変形してみる。

$$q(A^1, B^1) - q(A^1, B^0) - [q(A^0, B^1) - q(A^0, B^0)]$$

$A^0 \rightarrow A^1$ 及び $B^0 \rightarrow B^1$ になったときの効果から、 $A^0 \rightarrow A^1$ の効果を引いたものが図14の γ である。これから $B^0 \rightarrow B^1$ になった時の効果である β を引いた時得られるものが相乗効果 $\gamma - \beta$ にあたる。これは、B だけ、または A だけが変化したときの効果を全効果から差し引いたものであるので、A と B の2つともが動くことによつて生じた純効果ということになる。従つて、これに β を加え γ にしたものに、さらに α を加えると、全効果 ($=\gamma + \alpha$) になる。

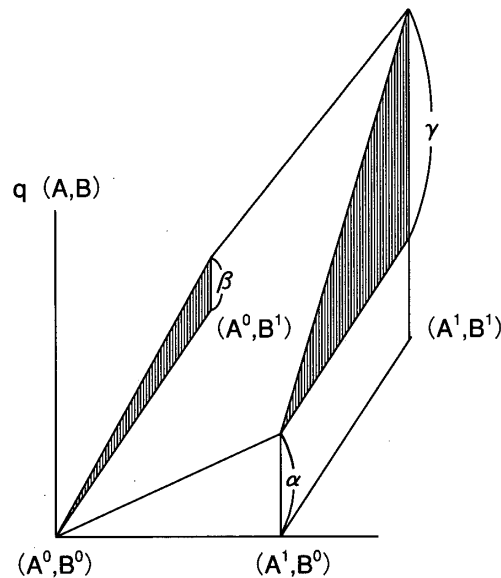


図14 2 要因の場合の相乗効果

参 考 文 献

1. 日本語文献

- [1] 張 宏武, 時政 勳 (2001): 「中国における地域別大気汚染物質排出量の推計及び分析」, 環境経済・政策学会2001年大会報告論文
- [2] 時政 勳, 張 宏武 (2001): 「中国のエネルギー消費と大気汚染の部門別分析」, 第17回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, エネルギー・資源学会
- [3] 時政 勳, 張 宏武 (2000): 「日本—中国におけるエネルギー消費・経済成長・環境に関する比較分析」, 時政 勳: 環境制約下の地域間・国際間・多部門経済の持続可能性に関する研究, 平成11年度科学研究費補助金基盤研究〔C〕研究成果報告書
- [4] 科学技術庁科学技術政策研究所編 (1992): 「アジアのエネルギー利用と地球環境」, 大蔵省印刷局
- [5] 吉岡 完治, 新井 益洋 (1980): 「我が国エネルギー需要の構造変化」, 三田商学研究, 第23巻3号
- [6] 中国研究所編: 中国年鑑, 各年版
- [7] 東野 晴行, 外岡 豊, 柳澤 幸雄, 池田 有光 (1995): 「東アジア地域を対象とした大気汚染物質の排出量の推計——中国における硫黄酸化物の人為起源排出量推計——」, 大気環境学会誌, 第30巻第6号
- [8] 東野 晴行, 外岡 豊, 柳澤 幸雄, 池田 有光 (1996): 「東アジア地域を対象とした大気汚染物質の排出量の推計 (Ⅱ)——中国における NO_x, CO₂ 排出量推計を中心とした検討——」, 大気環境学会誌, 第31巻第6号
- [9] 経済企画庁経済研究所 (1994): 「環境・エネルギー・成長の経済構造分析——産業連関分析とニューラルネットワーク——」, 経済分析, 第134号
- [10] 経済企画庁経済研究所 (1997): 「環境問題への計量経済学的接近」, 経済分析, 第154号
- [11] 張 宏武 (2000): 「中国における経済成長とエネルギー消費・環境汚染の関係」, 修大論叢, 広島修道大学大学院研究会
- [12] 張 宏武 (2001): 「中国におけるエネルギー起源の CO₂ と NO_x 排出に関する研究」, 修大論叢, 広島修道大学大学院研究会
- [13] 張 宏武 (2001): 「中国における SO₂ 排出量の部門別推計及び分析」, 修道商学, 広島修道大学商経学会
- [14] 張 宏武 (2001): 「中国における大気汚染物質発生の部門別研究」, 日本経済学会2001年度春季大会発表論文

2. 中国語文献

- [1] 国家统计局: 中国统计年鉴, 中国统计出版社, 各年版
- [2] 国家统计局工业交通统计司编 (1990): 中国能源统计年鉴—1989, 中国统计出版社
- [3] 国家统计局工业交通统计司编 (1992): 中国能源统计年鉴—1991, 中国统计出版社
- [4] 国家统计局工业交通统计司编 (1998): 中国能源统计年鉴—1991~1996, 中国统计出版社
- [5] 中国环境年鉴编辑委员会: 中国环境年鉴, 中国环境年鉴社, 各年版
- [6] 国家统计局 (1999): 新中国五十年统计资料汇编, 中国统计出版社

[付記]

本研究の一部を環境経済・政策学会2001年大会において報告した際、コメントを頂いた、明日香壽川先生 (東北大学)、後藤則行先生 (東京大学)、安藤博先生 (東海大学) に感謝します。本稿の研究は、日本学術振興会、平成12~13年度科学研究費補助金 (基盤研究 (C) 課題番号12630022) の研究成果の一部である。