

H-2 開発途上国における人口増加と地球環境問題の相互連関に関する研究
(2) 人口と地球環境に関する包括的モデル構築に関する研究

研究代表者 国立公衆衛生院保健統計人口学部 林 謙治

厚生省 国立公衆衛生院
保健統計人口学部 林 謙治・土井徹・高建群

(委託先) アジア・人口開発協会 前田福三郎

平成6-8年度予算額 15,098千円
(平成8年度予算額 4,587千円)

[要旨]

サブテーマとして「人口と地球環境に関する包括的モデル構築に関する研究」を行うに当たり、特定された地球環境問題を取り上げ、かつある程度の広がりを持った地域空間を対象とするのが適切であると思われる。本研究では地球環境問題のうち、特に温暖化現象を取り上げた。地域的に温暖化対策を考えた場合、今後、アジアのみならずグローバルレベルでも大きなインパクトを与えるのは、温室効果ガスを引き続き大量に排出するポテンシャルを持つ中国の動向が注目される。

1982-90年までの中国の二酸化炭素排出総量の変化に対する人口増加の影響をBongaarts法を用いて分析した。また、1人当たりの国内総生産、エネルギー強度、炭素強度との関連についても明らかにした。この間の人口増加の影響は21%であり、1人当たりの二酸化炭素排出量の影響は70%である。

Demographic transition と Industrial transition の関連について検討した。demographic transition のレベルについてはCho L.J.のIndex:DTI(TFR,平均寿命、都市化率を加味した総合指標)を用いて、中国各省のそれを算出した。また、DTIがボンガツモデルを構成する各要素との関連について検討した。DTIはGDP/Pとの相関がもっとも高く、炭素強度(CI)と中程度の負の相関、エネルギー強度(EI)とはほとんど関連性が見られない。一方、GDP/Pと炭素強度は高い負の相関を示し、エネルギー強度と中程度の負の相関を示した。一人当たりの炭素排出量はGDP/Pと高い相関を示し、EIとDTIとは中程度の相関がみられた。

以上から、1990年時点における状況を具体的に述べると、CO₂/P排出量の多いのは収入が高い地域であり、このような地域はエネルギーの熱効率はやや良い程度である。収入が低い地域では炭素強度が大きく、人口転換が進んでいない農村部である。人口転換の水準はおもに死亡率の差であり、死亡率の改善は都市化が進んだためよりも収入の増加がむしろ影響している。すなわち都市では経済成長、農村では炭素強度がCO₂/P排出量を引っ張っている。

中国のエネルギー需要から推計すると、2010年における二酸化炭素の排出量1992年の74%増、すなわち160万トン増加すると予測される。今後、二酸化炭素排出の

安定化は内陸部と大都市の人口動向、産業構造の転換およびエネルギー転換とそれに伴う技術的な対応が鍵をにぎる。

〔キーワード〕 二酸化炭素、中国、経済成長、地球温暖化、人口転換、

1. 序

多くの国際会議において、人口の増加は資源の消費を一層加速化することが議論されてきた。資源の大量消費は結果として地球環境の破壊につながることを踏まえて、「リオ宣言」中でも人口問題が地球環境問題の解決にとって重要な柱の1つであることが認識され、国際協調への努力が提案された。

「人口と地球環境に関する包括的モデル構築に関する研究」を行うに当たり、より特定された地球環境問題を取り上げ、かつある程度の広がりを持った地域空間を対象とするのが適切であると思われる。

本研究では地球環境問題のうち、特に温暖化現象を取り上げた。資源の大量消費につながる産業活動により排出される二酸化炭素等の温室効果ガスの寄与が明らかにされており、その対策が急がれてきた。しかしながら、温室効果ガスの排出量の増加は直接的には産業活動の結果であるにせよ、その背景には経済活動の形態、エネルギー利用の技術・形態が大きく影響していることは論をまたない。しかしながら、従来こうした枠組みの中で研究が行われたに止まり、人口の量や質といった変数がどのように関わっているかに関する研究はほとんど行われておらず、最近やっと緒についたばかりであるといえよう。

地域的に温暖化対策を考えた場合、今後、アジアのみならずグローバルレベルでも大きなインパクトを与えるのは、温室効果ガスを引き続き大量に排出するポテンシャルを持つ中国の動向が注目される。中国は驚異的な経済成長を遂げているばかりでなく、世界で最大の人口を有しており、人口と温暖化の問題の関連を検証するにはもっとも重要なフィールドであることは間違いない。

2. 研究目的

中国における人口の増加が経済変数およびエネルギー変数との関連で全国レベル及び省レベルにおいて二酸化炭素の排出量に与える影響について検討し、さらに各地域の人口転換のレベルを明らかにし、Bongaarts Indexの関連について検討する。これらの関係を明らかにすることによって今後さらに進むであろう人口転換が二酸化炭素排出量にいかなる影響を与えるかについて知見を得ると共に対策重点地区、対策内容を明らかにする。

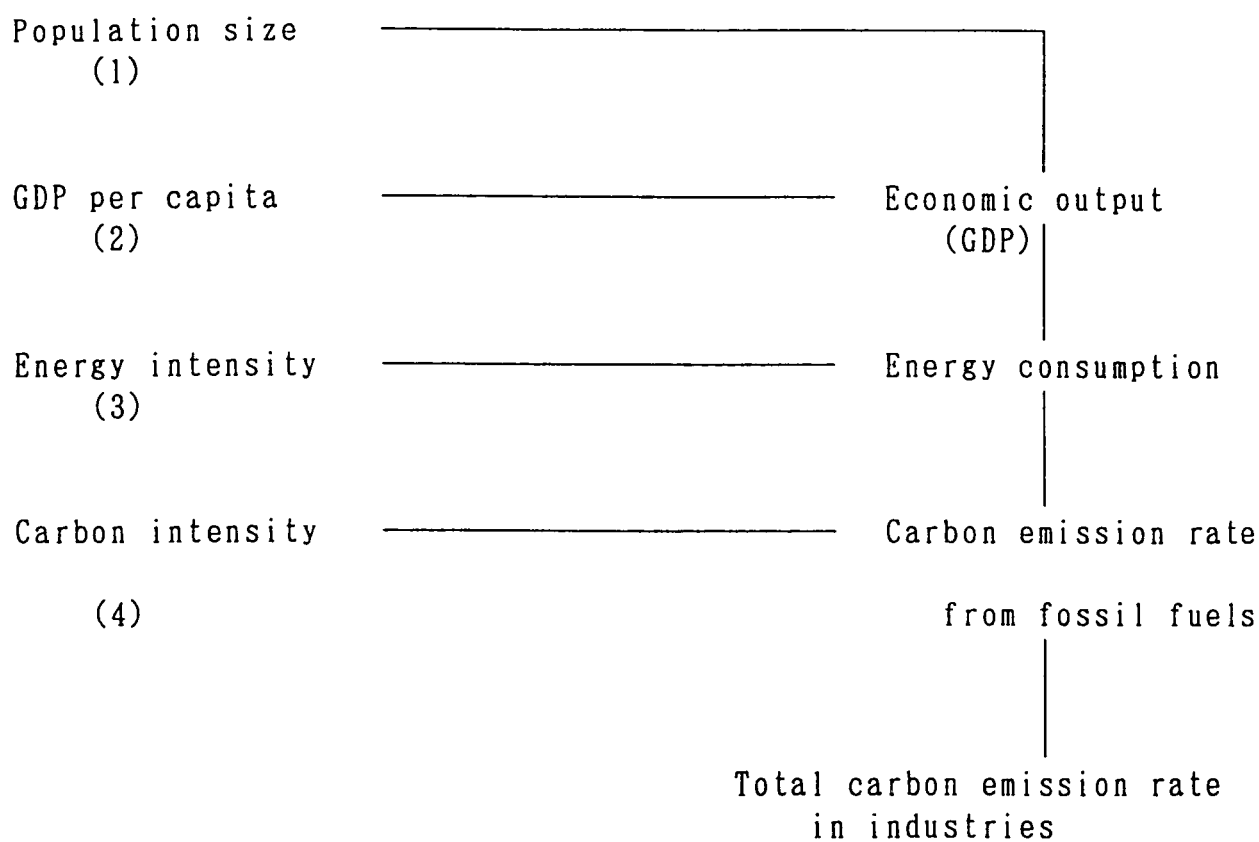
3. 研究方法

化石燃料の消費量から二酸化炭素の排出量の換算は伊藤らの方法によった(1)。人口増加と二酸化炭素の排出量の関係について数量的に検証する方法の一つであるBongaarts法(2)によった。この方法では人口変数の他に、経済変数、エネルギー変数を取り入れ、時間的な経過から相互の影響を観察するので、Trabstion Interaction

Model(TIM)を構築するひな型として適切であると思われ、本研究でも Bongaarts 法を用いることとし図 1 に Bongaarts 法の分析概念を示した。

図 1 Factors determining carbon dioxide emission

Factors



$$Tc_{O_2} = \underset{(1)}{P} \times \underset{(2)}{GDP / P} \times \underset{(3)}{E / GDP} \times \underset{(4)}{C / E}$$

Tc_{O_2} : CO_2 総排出量
 P : 人口
 GDP : 国内総生産
 E : 一次エネルギー供給
 C : 各種燃料による CO_2 排出量

Energy Intensity(EI)とは経済生産および消費を支えるためのエネルギー量を指し、Carbon Intensity(CI)とはエネルギー消費水準に関連して化石燃料から排出される二酸化炭素量をいう。以上を数式で表すと図に示したように人口(P)、1人あたりのGDP(GDP/P)、Energy Intensity、Carbon Intensityの積が二酸化炭素排出総量になる。Bongaartsは上記4変数の積のほかに森林面積を加算しているが、末端の薪材消費は商業統計として計上されていないので森林面積の変数は今回の解析から除外した。

人口の影響を直接計測するために式の右辺(2)、(3)、(4)項をまとめると表1に示すように二酸化炭素排出総量は人口と1人あたりの二酸化炭素排出量の積として表現できる。2つの時点の二酸化炭素排出総量の変化に対する人口と1人あたりの二酸化炭素排出量の変化が寄与する割合はいずれかの変数を独立とみなすことにより推計できる。1人あたりの二酸化炭素排出量はBongaarts式の両辺をPで割れば、(2)(3)(4)項の積として求められる。従って、同様の考え方で二酸化炭素排出量の変化についてGDP/P、EI、CIそれぞれの寄与割合を求めることができる。

表1 CO₂排出量の増加に対する人口およびCO₂/人排出量の寄与割合

$$T_{CO_2} = P \times T_{CO_2}/P$$

$$T_1 = P_1 \times T_1/P_1$$

$$T_2 = P_2 \times T_2/P_2$$

$$T_{exp.1} = P_2 \times T_1/P_1$$

$$T_{exp.2} = P_1 \times T_2/P_2$$

$$\text{人口の寄与割合} = (T_{exp.1} - T_1) / (T_2 - T_1)$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2/\text{人排出量の寄与割合} \\ = (T_{exp.2} - T_1) / (T_2 - T_1) \end{aligned}$$

人口転換のレベルについてはCho LJのIndex(3)、Demographic transition index(DTI)を用いて、中国各省のそれを算出した。DTIは次の式によって与えられる。

$$DTI = 0.4[(7.5 - TFR)/6.2] + 0.4[1 - (75 - e_0)/43] + 0.2[U]$$

TFR : Total Fertility Rate e₀ : Life Expectancy at Birth

U : Proportion Urbanized

右辺の係数を除いた3項はそれぞれ Fertility Transition level(FTL)、Health Transition Level(HTL)、Urbanization Transition Level(UTL)を示す。したがって、DTIは各Transitionの加

重総合指標ということになる。DTI は 0 から 1 までの間の数値をとり、1 に近いほど人口転換が成し遂げられたことを意味する。係数を除いた右辺 3 項も同様な意味を持ち、やはり 0 から 1 までの間の数値をとる。

DTI をはじめ各 Transition level がボンガツモデルを構成する各要素すなわち GDP/P、EI、CI との関連について検討した。

なお、分析対象期間は 1982 年から 1990 年までであり、使用した資料は中国人口統計、中国能源統計、中国経済統計である。

4. 研究結果

1982-1990 年までの各変数の動きを見ると、二酸化炭素排出総量はこの間 4 億トンから 6 億トンへとわずか 10 年足らずの間に 2 億トンすなわち 1.5 倍の増加があった。GDP/P は 1982-84 年までは比較的緩やかに増加し、1984-87 年に加速され、1987-90 年は一段と加速の割合を増している。なお、GDP は実質換算額を用いており、同期間に約 1.6 倍増である。EI は 1985 年まで急激に上昇し、その後緩やかに上昇した後、1987 年をピークに(82 年ベースで 1.4 倍増) 下降をたどっている。1990 年では 82 年水準をやや上まるに過ぎない。CI は研究対象期間中ほとんど変化が見られなかった。

次に 1982-1990 年の期間中における二酸化炭素排出総量の変化に対する人口と 1 人あたりの二酸化炭素排出量の変化が寄与する割合はそれぞれ 21%、70%と推計された(表 2)。

表 2 CO₂排出量の増加に対する人口およびCO₂/人排出量の寄与割合

期間	人口の寄与割合 (%)	CO ₂ /人排出量寄与割合 (%)	残差 (%)	計 (%)
1982-'90	20.9	70.4	8.8	100
1982-'87	18.5	76.4	5.7	100
1987-'90	34.0	63.1	2.9	100

先に示した経済変数、エネルギー変数ともに 1987 年を境に大きく変化していることをかんがみ、対象期間を 1982-87 年の前半部と 1987-90 年の後半部に分けて検討した。その結果、1982-87 年期間の人口と 1 人あたりの二酸化炭素排出量の変化がの寄与割合がそれぞれ 19%、76%であるのに対して 1987-90 年期間のそれらは 34%、63%であった。両期間ともに 1 人あたりの二酸化炭素排出量の変化がの寄与割合が人口

変化の寄与割合より大きい。後半期では人口因子の重みが増している。

1人当たりの二酸化炭素排出量の変化について同様な方法で GDP/P、EI、CI それぞれの寄与割合を求めた。1982-90年の期間では GDP/P が 109%、EI は -7.5%、CI は 1.3% であった。前半期の 1982-87 でのそれぞれの寄与割合は 80.9%、12.7%、3.4% であり、後半期では 145.1%、-35.2%、-1.2% であった。前半期から後半期にかけて GDP/P が大きく伸び、EI はマイナス方向に大きく減じた。

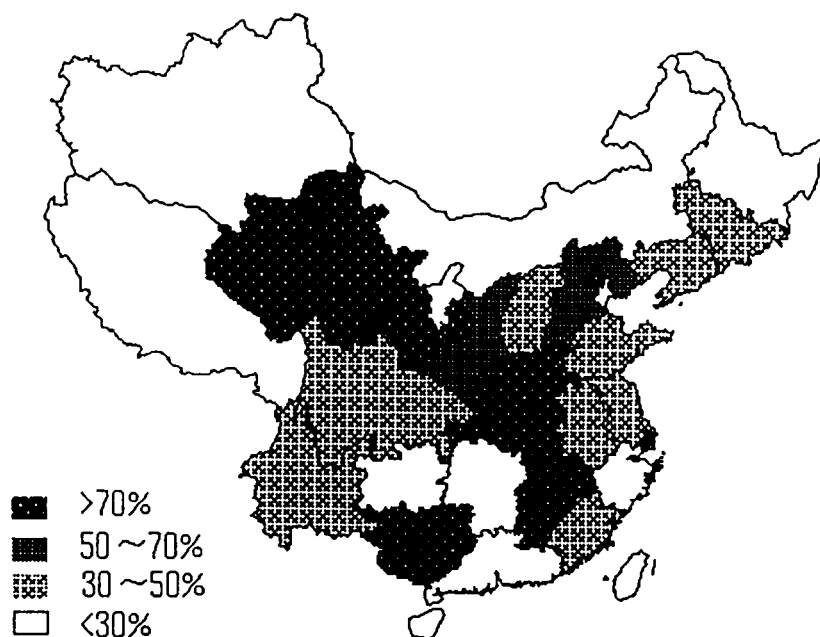


図3. 全国各省における CO_2 排出量に対する人口増加の影響(1987~'90)

人口増加の影響が顕著であった 1987-90 年の後半期について、省別に人口と 1 人当たりの二酸化炭素排出量とその省の二酸化炭素排出総量に対する寄与割合を推計し、図 2、3 に示した。

図から明らかなように人口増加のインパクトが大きい地域は北京、上海のほかは主として内陸中心部の青海、江西、湖北、河南および広西各省である。ひるがえって、1 人当たりの二酸化炭素排出量の影響が大きい地域は黒龍江、内蒙古、ウイグル自治区の辺境部の他広東、湖南、浙江など幾つかの沿海地域を含んでいる。

今後の対策を考えるに当たって人口以外の変数の現状についても考慮する必要がある。まず、GDP/P についてはウイグルの他、東北から南部にかけての沿海地区の各省は経済水準が高いこと。EI は中国東北部から西北部のほとんどの省、南部では貴州省が高く、すなわちエネルギーの生産性が非常に悪い。CI は一般に高く省別格差が少ないが特に内蒙古、山西、河北、広西、雲南各省が劣悪であることが明らかとなった。

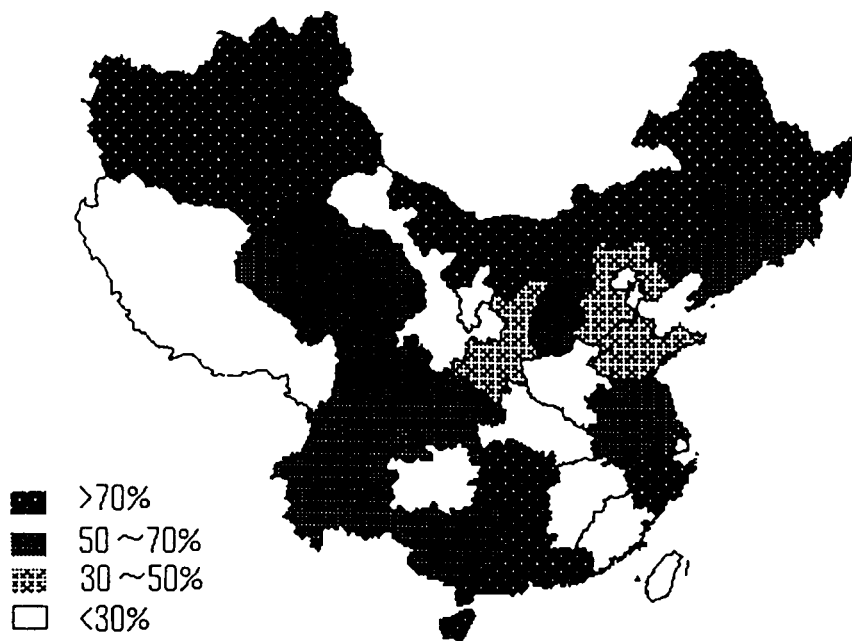


図4. 全国各省における CO_2 排出量に対する一人当たり CO_2 排出量の影響(1987~'90)

1990 年における各省の DTI を見ると、北京、天津、上海の大都市をはじめ沿岸各省はすでに先進諸国と変らないほどの人口転換を遂げている（表 3）。内陸部各省でもアジア中進国並みのレベルに達している。FTL および HTL においてもいずれも高く、省格差が小さい。Urbanization Transition Level のみ低く、省格差は他の Transition の倍（SD）であることがわかる。1982 年時点においても Transition Level の省格差に関する基本的なパターンは同様であるが、しかし 1990 年までの間に北京、天津、上海を除いて省別に見ると UTL は 20-50% 程度の増加があった。

表 4 の FTL、HTL、UTL の各 Transition の地域相関を見ると、相関係数はいずれも 0.5-0.6 程度である。DTI との相関は HTL が 0.8 とかなり高く、FTL および UTL は非常に低い。すなわち各省の人口転換レベルの違いは主に平均寿命（死亡率）の差が反映されていることになる。

各 Bongaarts 指数の相関では、まず CO_2/P は GDP/P と強い正の相関がみられ、また、 GDP/P は CI と強い負の相関があった。各 Transition との関係を見ると、 CO_2/P は FTL と弱い相関が見られる程度である。 GDP/P はこれに比べ FTL、HTL、UTL に対しより強い相関関係が見られ、特に三者の総合値である DTI とは 0.76 の強い相関があった。EI はいずれの Transition ととも相関がない。CI は UTL と強い負の相関があり、HTL ととも弱い相関があった（表 5）。

表 3 1990 年における各省の人口転換水準

	Demographic Transition Level (Index)	Fertility Transition Level	Health Transition Level	Urbanization Transition Level
北京	0.99	0.99	0.97	0.69
天津	0.96	0.94	0.95	0.72
河北	0.85	0.83	0.93	0.42
山西	0.84	0.81	0.87	0.57
内蒙古	0.84	0.89	0.81	0.49
遼寧	0.96	0.97	0.90	0.72
吉林	0.91	0.92	0.85	0.72
黒龍江	0.91	0.93	0.84	0.67
上海	1.00	0.99	1.01	0.64
江蘇	0.90	0.89	0.94	0.52
浙江	0.96	0.98	0.94	0.63
安徽	0.80	0.80	0.88	0.34
福建	0.85	0.83	0.89	0.51
江西	0.78	0.81	0.81	0.36
山東	0.90	0.87	0.91	0.62
河南	0.77	0.74	0.89	0.34
湖北	0.86	0.81	0.83	0.73
湖南	0.80	0.82	0.82	0.43
広東	0.93	0.80	0.95	0.87
広西	0.80	0.77	0.87	0.44
四川	0.82	0.93	0.82	0.32
貴州	0.71	0.73	0.77	0.31
雲南	0.75	0.79	0.74	0.41
西	0.79	0.77	0.85	0.44
甘肅	0.80	0.83	0.83	0.40
青海	0.73	0.81	0.69	0.34
寧夏	0.78	0.79	0.84	0.38
新疆	0.72	0.70	0.77	0.43
平均	0.85	0.85	0.86	0.52
S D	0.085	0.082	0.073	0.157

表 4 各 TRANSITION の地域相関

	FTL	HTL	UTL	DTI
FTL	-	0.56	0.56	0.44
HTL	-	-	0.59	0.83
UTL	-	-	-	0.35

表 5 Bongaarts 指数と Transition Level の相関

	CO ₂ /P	GDP/P	J/GDP(EI)	C/J(CI)	DTI	FTL	HTL	UTL
CO ₂ /P		0.71	0.56	-0.34	0.56	0.55	0.38	0.46
GDP/P			-0.53	-0.74	0.76	0.68	0.66	0.58
J/GDP(EI)				0.39	-0.15	-0.07	-0.24	-0.08
C/J(CI)					-0.63	-0.39	-0.53	-0.71

CO₂/P: 1人当たりの二酸化炭素排出量
J/GDP: ENERGY INTENSITY(EI)

GDP/P: 1人当たりの国内総生産
C/J : CARBON INTENSITY(CI)

5. 考察

1982-90 年まで中国全国レベルで二酸化炭素の排出総量は 2 億トン増加し、人口増加と 1 人当たりの二酸化炭素排出量の寄与割合はそれぞれ 21%、70%であった。1987 年以降は人口増加の影響が重みを増している。地域別では北京、上海の二大都市と内陸部が大きく影響しているが、前者は「民工潮」と呼ばれる人口流入によるものと思われ、後者は「一人っ子政策」が十分浸透していない上に 1960 年までの大飢饉後に見られた出生ブーム(1961-65)によるコホートが婚姻年齢に突入したものと思われる。

GDP/P およびエネルギー強度を合せてみると、沿海地域の経済成長は著しいが第三次産業の伸長によるため EI の低下が顕著である。他方、東北部から西北部にかけてエネルギー生産性が悪く、特に東北部は経済成長を伴っているためにエネルギーの浪費が膨大である。CI の地域格差は比較的小さく、1982-90 年の間変化もごく僅かであるが高位水準が持続している。全体としてみると、中国の化石燃料の消費は近年石油不足が言われているがやはり石炭中心である。熱効率が低い上に炭素の排出に対応できないまま大量の石炭を消費することによって高い経済成長を引っ張ってきたと言えよう。今後人口の自然増加率は低くても、人口母数そのものが大きいために増加数は膨大であり、特に内陸部の人口自然増と大都市の社会増に注目する必要がある。また、経済成長政策は引き続き維持されると思われるので、従って、二酸化炭素排出の安定化は産業構造の転換およびエネルギー転換とそれに伴う技術的な対応が鍵をにぎる¹⁾。

以上の結果から人口転換と Bongaarts 指数の関連が次のように想定される。1990 年時点における CO₂/P 排出量の多いのは収入が高い地域であり、このような地域はエネルギーの熱効率はやや良い程度である。収入が低い地域では炭素強度が大きく、人口転換が進んでいない農村部である。人口転換の水準はおもに死亡率の差であり、死亡率の改善は都市化が進んだためよりも収入の増加がむしろ影響している。すなわち都市では経済成長、農村では炭素強度が CO₂/P 排出量を引っ張っている。Total CO₂ = P × CO₂/P であるから人口規模も重要な変数であるが都市と農村人口はほぼ半々であり、現在のところ経済成長がはるかに大きな影響を与えている。

6. 国際研究協力の状況

H-2-1 研究テーマと共に中国社会科学院人口研究所、中国人口情報研究中心、中国衛生部衛生統計信息中心、上海社会科学院 人口与発展研究所と研究協力を行った。

7. 研究発表の状況

学会発表

1. Hayashi K.: Population Control in Tropics(Symposium). 14th International Congress for Tropical medicine and Malaria. Nagasaki. Nov 1996,English
2. 林 謙治、土井徹：中国の人口増加が二酸化炭素の排出におよぼす影響。第 55 回日本公衆衛生学会総会抄録集。大阪 1996.85:2

論文

1. Hayashi K.: Demographic Impact on Environment - A Case Study in China Focussing on CO₂ Emission -. Asian-Pacific J. Public Health (in print),English

8. 参考文献

1. 伊藤忠温、槌屋治紀：温室効果ガス（CO₂）排出量の推計、開発と環境シリーズ2 地球環境問題と発展途上国（藤崎成昭編）、123-144、アジア経済研究所、東京、1993
2. Bongaarts, J.: Population growth and global warming. *Population and Development Review* 18(2), 299-319, 1992
3. Lee-Jay Cho: Industrial transition and demographic dynamics of the Asia-Pacific region. *Proceedings of the international symposium on the role of the Asia-Pacific region in world economic development* 41-59, 1984