

アジア諸国の経済発展にともなう交通需要と環境負荷に関する研究
STUDY ON TRANSPORTATION, ENVIRONMENT AND ECONOMIC DEVELOPMENT
IN ASIAN COUNTRIES

中山 裕文*、金子 慎治*、藤倉 良*、井村 秀文*
Hirofumi NAKAYAMA *, Shinji KANEKO *, Ryo FUJIKURA * and Hidefumi IMURA *

ABSTRACT; The purpose of this study is to discuss environmental implications of increasing transport volume in Asian countries which are achieving rapid economic development. Increase in the number of automobile vehicles is most remarkable in cities which do not have appropriate mass transportation systems such as subways. From the global viewpoint, increasing freight transport and motorization in China attract our attention. The share of the tracks already exceeds 80 percent of the total automobile transport in China, and is still increasing. On the other hand, railways plays a dominant role in China's freight transport; their share being around 80%. As a whole, tracks play an important role in the short distance transportation while railways are responsible for the long distance. Carbon dioxide emission of transportation sector in China has been increasing mainly due to the increase of track transportation, although tracks fuel economy has been improved. With China's economic development, especially in the coastal region, transportation of coal from the North and West to the South and East will cause heavy burden on the railway transportation system. The coal transport from Shanxi Province to Hubei Province, in particular, is expected to be increased toward the year of 2010.

KEYWORDS; transportation, Asia, China, CO₂ emission, transportation of coal

1. はじめに

中国、タイ、インドネシア等のアジア諸国は工業化による急速な経済成長を遂げつつあり、それに伴い自動車を中心とした交通需要も急増している。アジアにおける自動車販売台数は、経済成長率をも上回るペースで増加している。過去の日本の例を見ても、いったんモータリゼーションの引き金が引かれれば、その進展は現在の予想以上に急速になる可能性がある。急速なモータリゼーションは交通網などのインフラ不足の問題を発生させ、状況は今後さらに緊迫していくものとみられる。例えば、バンコクの悪名高い慢性的な道路渋滞は悪化の一途をたどっており、中国でも上海など沿海部の大都市ではすでに交通渋滞が深刻化している。とりわけ、中国のモータリゼーションと輸送構造の変化は、地域環境のみならず地球環境全体にも大きな影響を及ぼしかねない。

本研究では、アジア諸国の交通需要の増大とそれにとりもなう環境負荷について解析する。特に中国はアジア諸国の中でも輸送構造に特徴があり、あわせて中国に着目した解析も行ふこととする。

中国は国土面積が大きいと、地域間の輸送構造について分析する。中国では、主要エネルギー源である石炭の輸送が鉄道などの輸送機関に大きな負担をかけている。とりわけ、増大する電力需要により、石炭の輸送量は増加の傾向にある。

産業配置が輸送にあたる影響も大きい。中国では主要鉱物資源は、石炭の84.6%、天然ガスの76.3%、鉄鉱石の52.2%、銅鉱石の86.6%が中西部において生産されている(1993年)。一方、これを消費する主要工業地は、東北三省、東部、南部の沿岸地域に集中している¹⁾。これらの要因が交通システム全体を左右しているとみられる。このような物資需給の関係を考慮しつつ、中国内地域間での輸送構造を解析する。

*九州大学工学部環境システム工学研究センター

* Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University

2. モータリゼーション

(1) 都市レベル

都市レベルでのモータリゼーションの進展度を比較するため、1人当たりのGDPと自動車台数の関係を見る。ここでの自動車台数は、乗用車、トラックの合計であり、二輪車は含まない。バンコク、台北、ジャカルタでは自動車台数が急増している。特に、バンコクと台北は台数の多さと増加率の大きさが著しい。また、ジャカルタでは増加率が大きい。これらの都市では地下鉄などの大量輸送機関が整備されていないため、バスや自家用車など自動車による移動に頼っているためと考えられる。その他の都市をみると、香港は低いレベルで安定しており、東京は高レベルで安定している。香港や東京では地下鉄などの公共輸送機関が整備されているため、自動車台数の増加率はそれほど大きなものではない。北京ではGDPの増加にともなって自動車も増加すると考えられる。

道路の整備状況を見ると、シンガポールの道路はかなり余裕があるが、これは自動車を規制する政策のためとみられる。バンコクの道路整備状況は1台当り道路面積、道路面積率ともに最低である。バンコクには地下鉄はなく、鉄道の利用状況も低い（人口1000人当りの鉄道乗客数でみると、東京630人、ソウル38人に対し、バンコク6.7人）。これが世界最悪といわれる同市の交通渋滞の原因となっている。また、北京では道路面積率は低いが、自動車台数が少ないために、自動車の面から見れば道路には余裕があるといえる。

(2) 国レベル

次に、国レベルでの1人当たりGDPと1人当たり自動車輸送量（トンキロ）をみる。中国の1人当たり道路輸送量は量、増加率ともに韓国をすでに上回っている。国土の広大さと、一次エネルギーを石炭に依存する中国の体質が、自動車輸送量を増大させていると考えられる。都市レベルでのモータリゼーションはその都市の特性によって異なるため共通した傾向を把握するのは難しい。これに対して国レベルの自動車輸送では、おおむね図-3の点線のような傾向で増加していくものと考えられる。

3 中国の貨物輸送構造と環境負荷

3-1 輸送機関別にみた貨物輸送構造

中国の輸送機関別（鉄道（蒸気機関車、ディーゼル機関車、電車）、トラック）の貨物輸送分担率（トン

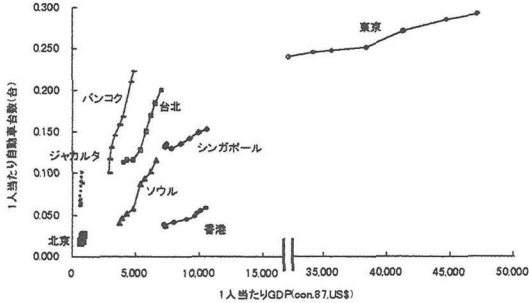


図-1 都市におけるモータリゼーション
(資料4～12より作成、都市の1人当たりGDPは一部推計値)

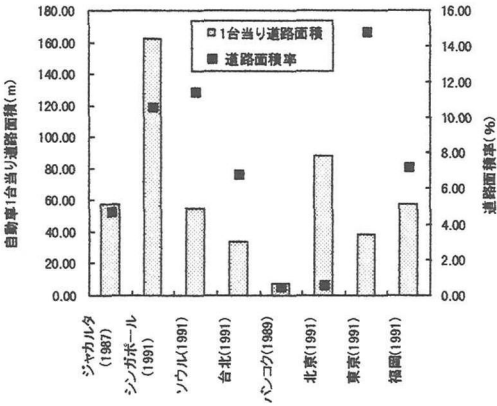


図-2 都市の道路整備状況
(資料4, 14より作成)

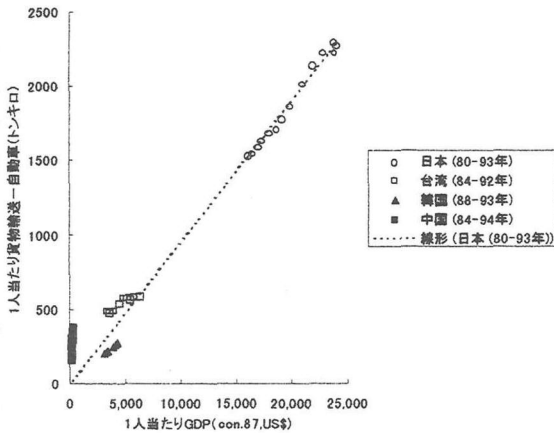


図-3 アジア諸国の貨物輸送（道路）
(資料10,11,16,17より作成)

ベース)、平均輸送距離、貨物輸送分担率(トンキロベース)を
図4～図6に示す。鉄道の種類別のデータは推計値である。

貨物輸送分担率(トンベース)では、トラックによる道路輸
送が伸びており、94年には全体に占める割合が80%以上となっ
ている。平均輸送距離では、トラックは鉄道に比べてかなり低
い。鉄道の種類別でみると、85年には鉄道輸送の7割近くを占
めていた蒸気機関車がディーゼル車、電車に取って代わられて
いる。中国政府は鉄道路線の電化を進めていく方針で、94年の
路線電化率16.6%を、「第9次5ヵ年計画と2010年までの長期
目標(1996年3月17日承認)」で27%まで引き上げる目標を掲
げている。

貨物輸送分担率(トンキロベース)でみると、鉄道の割合が
高いことがわかる。鉄道の種類別にみると、蒸気機関車は減少
し、ディーゼル車が急増している。日本では鉄道の貨物輸送量
(トンキロ)は全体の10%以下に低下したのとは対照的である。
中国のような広大な国土を持つ国では、鉄道輸送が重要な役割
を果たしている。しかし、中国では輸送容量が限界に達してい
る路線が多く、これが輸送を制約している。このため、近距離
輸送はトラックに転換される傾向にある。

3-2 貨物輸送によるCO₂排出構造

中国では、交通運輸部門の占めるエネルギー消費量の割合は
約6%と低いが、年々その量は増加している。また、図4～
6に示したとおり輸送構造は大きく変化しつつあり、環境負荷
(ここではCO₂)の発生構造も変化している。以下では、中国の
輸送機関別(鉄道(蒸気機関車、ディーゼル機関車、電車)、ト
ラック)にCO₂排出の要因分析を行い、その構造について解析
する。

(1) 解析手法

貨物輸送に伴って発生するCO₂の総量X(単位:tc)は、次式のように表される。

$$X = \sum \frac{x_i}{y_i} \cdot \frac{y_i}{z_i} \cdot z_i$$

(i : 輸送機関, x : CO₂排出量, y : 貨物輸送トンキロ数, z : 貨物輸送トン数)

ここで、 x_i/y_i はトンキロ当りCO₂排出原単位、 y_i/z_i は平均輸送距離を表す。

上式から、ある期間におけるXの変化分 ΔX は次のように要因分解できる(二次以上の交絡項は省略)。

$$\Delta X = \sum \left(\Delta \frac{x_i}{y_i} \right) \cdot \frac{y_i}{z_i} \cdot z_i + \sum \frac{x_i}{y_i} \cdot \left(\Delta \frac{y_i}{z_i} \right) \cdot z_i + \sum \frac{x_i}{y_i} \cdot \frac{y_i}{z_i} \cdot \Delta z_i$$

= CO₂原単位要因(単位輸送トンキロ当りCO₂排出原単位の変化による変化分)
+ 平均輸送距離要因(平均輸送距離の変化による変化分)
+ 輸送量要因(輸送量の変化による変化分)

以下、この式によって、CO₂排出量の経年的増減に対する各要因の寄与度を分析する。

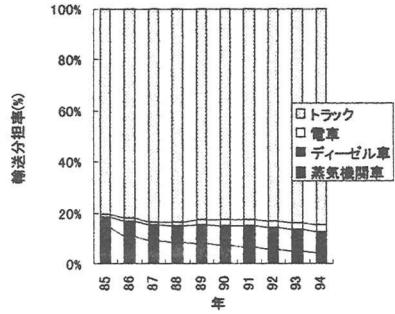


図-4 輸送分担率(トンベース)

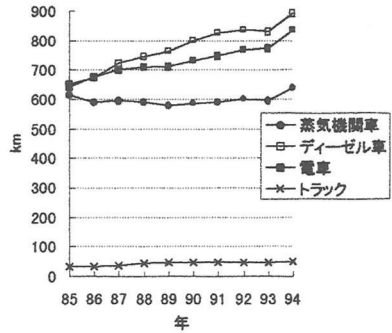


図-5 平均輸送距離

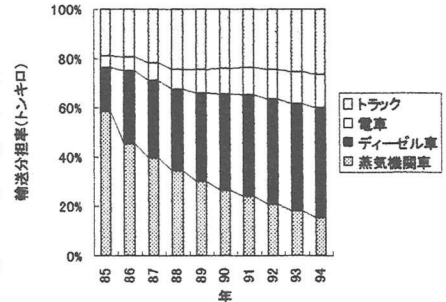


図-6 輸送分担率(トンキロベース)

(図-4～6は資料12、15より作成)

(2) 解析結果

輸送機関別の分析の結果、蒸気機関車を除いて全体的に、燃費改善による単位輸送トンキロ当りのCO₂排出量は低減しているものの、平均輸送距離、輸送量の増加によって総排出量が増加するという傾向が見られる。とくにエネルギー多消費型交通機関であるトラック輸送の増加により全体としてのCO₂排出量は増加の一途をたどっている。日本では、鉄道へのモーダルシフトの努力が行われつつあるが、中国では鉄道輸送力にほとんど余裕がないため、逆にトラック輸送へシフトしつつある。中国の経済成長が輸送力の不足により制約を受けているといわれるが、これを解消する方策としてトラック輸送を増大させることはCO₂排出量をさらに増やす原因となる。

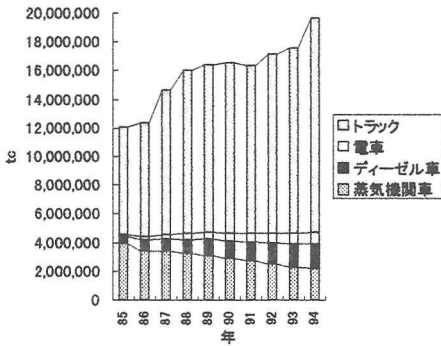


図-7 輸送機関別CO₂排出量

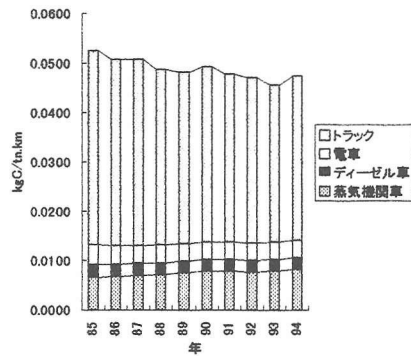


図-8 単位輸送当りのCO₂排出量

表-1 要因分析結果 (単位: tc)

	第1要因			第2要因			第3要因		
	85～88年	88～91年	91～94年	85～88年	88～91年	91～94年	85～88年	88～91年	91～94年
蒸気機関車	526,079	315,850	158,405	-172,446	-1,181	246,034	-882,169	-631,749	-705,140
ディーゼル車	-72,943	-36,208	-5,484	69,603	102,144	113,944	502,851	274,517	333,679
電車	-17,646	0	-9,291	19,786	19,701	70,149	170,566	185,415	202,324
トラック	-844,655	-476,412	-253,562	2,742,177	520,012	998,856	2,360,746	24,870	2,520,022
合計	-409,166	-196,769	-109,933	2,659,120	640,676	1,428,983	2,151,994	-146,948	2,350,884

(第1要因=CO₂原単位変化要因、第2要因=平均輸送距離変化要因、第3要因=輸送量変化要因)

4 中国における石炭輸送について

中国では1次エネルギー消費量の約7割が石炭であり、今後もこの比率が維持されると見られている²⁾。各産業にとって石炭の安定供給は重要な問題であり、輸送がそれを保証するものである。石炭は主に鉄道で輸送されている(図-9)。また、鉄道の総輸送量の半分近くを石炭が占めている(図-10)。このことは、石炭の輸送が、旅客や他の物資の輸送を大きく圧迫していることを意味している。また、石炭の供給地(主に中西部)と大量消費地である工業地域(主に沿岸地域)とが離れていることが中国全体の輸送システムに与える影響は大きい。近年の工業化により内陸部から沿岸部への石炭輸送は増加しており、地域間輸送の効率化は重要な課題である。ここでは、中国交通年鑑の国家鉄路地区間煤炭交流表¹⁵⁾を用いて省間の石炭輸送が今後どのように変化していくかを予測する。

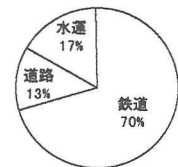


図-9 石炭の総輸送量に占める鉄道の割合 1994年(資料15より作成)

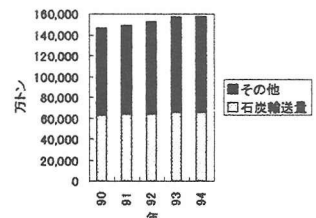


図-10 鉄道総輸送量に占める

石炭の割合(資料15より作成)

4-1 解析手法

(1) ゾーン別発生（発送）・集中（到着）量の予測

生産・消費されるすべての石炭は何らかの輸送機関によって運ばれるとすると、鉄道の分担率は以下のように表わせる。

$$S_i = G_i / P_i, \quad S_j = A_j / C_j$$

(S_i, S_j : ゾーン i 、ゾーン j における鉄道の輸送分担率、 G_i : ゾーン i における発生輸送量、 A_j : ゾーン j における集中輸送量、 P_i : ゾーン i における石炭生産量、 C_j : ゾーン j における石炭消費量)

将来まで輸送構造が変化せず現在のままでであると仮定すると、将来の発生量、集中量は将来の石炭生産量、消費量から求まる。

(2) 石炭生産・消費量の予測

将来の将来の石炭消費量は、単純に省別の GDP との関係から求めた。将来の省別 GDP は過去 5 年間の平均伸び率に従うと仮定した。さらに石炭生産量も過去 5 年間のトレンドにしたがうと仮定した。将来の生産量は消費をすべてまかなえとし、将来の石炭総消費をコントロールトータル量としてその差を各省に比例配分した。

(3) 分布輸送量の予測

分布量の予測には 2 つの考え方がある。ひとつは、物がゾーン間を移動する際の交通行動特性を何らかのモデル式で表現する分布モデル法である。この代表的なものには重力モデル法 (gravity model) がある。もう一つは、将来の分布量は現在の分布パターンが何らかの形で反映されて出現すると考える現在パターン法である。

重力モデル法では、ゾーン間の分布量は各ゾーンの発生力、吸引力、距離抵抗、ゾーン間の固有の結びつきによって決まるということを仮定したものである。しかし、中国のような計画経済の国では、国の計画が物の流れを左右することが多いため。計算結果を左右するゾーン間の固有の結びつきを決定するのはかなり難しい。このため、ここでは現在パターン法を適用することとする。現在パターン法には分布パターンの反映のさせ方の違いによって、均一成長法、平均係数法、デトロイト (Detroit) 法、フレーター (Fratar) 法などがあるが、ここではフレーター法を用いた。フレーター法の一般式は以下のとおりである。

$$X_{ij} = X_{ij}(0) \cdot M_i N_j \frac{1}{2} \left(\frac{g_i}{\sum_{j=1}^n X_{ij}(0) \cdot N_j} + \frac{a_j}{\sum_{i=1}^n X_{ij}(0) \cdot M_i} \right) \quad (M_i = G_i / g_i, N_j = A_j / a_j)$$

($X_{ij}(0)$: ゾーン i 、ゾーン j の間の現在の分布量、 X_{ij} : ゾーン i 、ゾーン j の間の将来の分布量、 g_i, G_i : ゾーン i の現在、将来の発生量、 a_j, A_j : ゾーン j の現在、将来の発生量)

この式により求められる発生量、集中量は、(1) で求めた値と異なるので、これらが十分に等しいと判断されるまで収束計算を行う。

この方法では、現在の輸送パターンと将来の需要量、供給量によって将来値を予測するため、新路線建設による輸送距離の短縮や輸送容量による輸送の制約、地域間の固有の結びつきの変化といった要因を考慮できないという欠点がある。

4-2 解析結果

表 2 は、4-1 で述べた方法で計算した 2010 年の鉄道による石炭輸送マトリクスと 1994 年のマトリクスとの差である。

到着量でみると、増加が多いのは沿海部の省であり、中でも素材産業を中心とした東北 3 省（遼寧、吉

表-2 1994年～2010年の石炭鉄道輸送量の変化量 (単位:万吨)

	北京	天津	河北	山西	内蒙古	遼寧	吉林	黒龍江	上海	江蘇	浙江	安徽	福建	江西	山東	河南	湖北	湖南	広東	広西	海南	四川	貴州	雲南	チベット	陝西	甘肅	青海	寧夏	新疆	合計		
1994	78	87	71	0	0	1	25	4	3	0	4	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	336	
1995	0	-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9	
1996	7	46	773	3	7	92	1	1	145	84	0	0	0	0	0	69	11	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,237	
1997	839	1,715	8,141	1,686	152	1,465	158	56	90	2,684	477	751	219	152	3,184	268	580	96	290	197	0	0	0	0	0	117	0	-5	23	0	0	23,232	
1998	1	381	784	0	1,561	536	283	1,282	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	4,930	
1999	0	0	2	0	34	2,105	80	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,247	
2000	0	0	0	0	0	20	280	846	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,188	
2001	0	0	0	0	42	1,066	1,222	3,377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,705	
2002	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-4	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	25	719	133	21	7	4	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	952
2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	49	534	179	1,274	66	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,122
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	43	0	503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	546	
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	2	119	6	37	248	0	0	-5	34	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	445	
2008	0	2	19	0	0	0	0	0	29	531	385	107	16	30	1,929	0	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,062
2009	0	1	9	0	0	21	6	0	18	1,178	136	260	6	154	198	362	1,079	48	311	162	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	3,955
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	6	186	441	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	842	
2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	196	497	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	347	
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	694	
2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	223	3	45	54	0	1,931	0	12	0	29	0	0	0	0	0	0	2,301
2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	30	0	0	39	25	494	250	0	104	898	41	0	1	0	0	0	0	0	0	1,887
2017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	3	14	0	0	0	5	29	102	0	16	2	506	0	0	0	0	0	0	0	0	689
2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	755	21	15	0	9	0	0	2	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,517
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	3	475	32	0	0	0	568	
2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	
2022	6	40	7	0	15	56	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	50	-63	-7	575	4	0	686	
合計	931	2,263	9,808	1,688	1,830	5,645	2,602	4,765	211	6,492	1,595	2,432	857	668	5,491	632	2,045	357	2,195	1,473	23	2,050	900	559	0	849	730	66	897	0	87	59,968	

林、黒龍江)と渤海沿岸地区(北京、天津、河北、山東)は増加が著しい。この地域への石炭輸送は現在も突出しているが、今後もさらに輸送需要が高まるとみられる。一方、上海では増加量が少ない。これは、上海では消費量に対して鉄道到着量が少なく、石炭輸送は水運でまかっているためであると考えられる。発送量でみると、石炭発送基地である山西省からの輸送量が激増しており、その大半は河北省への輸送分である。山西省から河北省への輸送は、石家荘と太原を結ぶ石太線を中心に行われている。石太線の貨物輸送密度は6409万t・km/km(1994年)であり、輸送密度の高い中国の主要路線の中でも第4位にあたる¹²⁾。この路線の輸送容量には余裕が無いと考えると、新規鉄道整備を早急に進める必要がある。第9次5ヵ年計画では、山西省の炭田からの鉄道の建設は重要な任務であるとされているが、その他にも陝西省、内モンゴル自治区などからの石炭輸送路線の建設も課題とされている³⁾。

5 まとめ

アジア諸国のモータリゼーションの進展度をみるために、自動車台数、道路の整備状況を都市レベルで比較した。中国については、輸送構造の変化と環境負荷の発生構造について要因分析を用いて解析した。また、中国の石炭輸送の構造を分析し、2010年における省間の輸送需要を予測した。

(1)アジア諸国の主要都市でモータリゼーションを比較した場合、地下鉄などの大量輸送機関が整備されていない都市では自動車台数が急速に増加している。

(2)中国の陸上貨物輸送はトラックの割合が増加している。CO₂排出の輸送機関別要因分析の結果、蒸気機関車を除いて全体的に単位輸送トンキロ当りの原単位向上がCO₂排出量の低減に寄与しているものの、平均輸送距離、輸送量の増加(特にトラック輸送)によってCO₂排出量が増加するという傾向が見られた。

(3)石炭輸送の予測では、内陸の石炭生産地と、大量消費地である沿海部の省との輸送(特に山西省と河北省の間の輸送)が大きく増加するという結果になった。この間の鉄道路線の早急な整備が必要である。

・石炭輸送の予測における今後の課題として、新路線建設による輸送距離の短縮や輸送容量による輸送の制約、地域間の固有の結びつきの変化といった要因を考慮したモデルを構築することが挙げられる。

6 参考文献

- 1)井村秀文、勝原健：「中国の環境問題」，東洋経済新報社，1995
- 2)OECD/IEA：「2010年世界のエネルギー展望」，(財)通称産業調査会，1993
- 3)中国研究所：「中国年鑑1996」，新評論，1996
- 4)東京都総務局統計部：世界大都市比較統計年表1986～1994年版
- 5)環境国際比較研究班：都市の広域化と環境変化の国際比較分析 平成2年～4年度研究成果報告書，1993
- 6)国土庁：国土統計要覧 平成2,6年度版，大成出版社
- 7)United Nations：State of Urbanization in Asia and the Pacific 1993
- 8)National Statistical Office, Office of the Prime Minister：Statistical Yearbook Thailand 1994
- 9)Department of Statistics, Malaysia：Yearbook of Statistics 1993
- 10)World Bank：World Data 95 CD-ROM, 1995
- 11)WRI：World Resources Data Diskette
- 12)中国統計出版社：中国統計年鑑1987～1995年版
- 13)中国統計出版社：中国能源統計年鑑1989, 1991年版
- 14)中国統計出版社：中国城市統計年鑑1988～1994年版
- 15)中国交通年鑑社：中国交通年鑑1987～1995年版
- 16)アジア産業研究所：韓国経済・産業データハンドブック '94～'95
- 17)運輸省運輸政策局情報管理部：運輸経済統計要覧 平成5年版，運輸省経済研究センター，1994