

空間構造とエネルギー・環境との相互作用に関する最近の研究の概観
AN OVERVIEW OF RECENT RESEARCHES ON
SPATIAL STRUCTURE ENERGY/ENVIRONMENT INTERACTION

林 良嗣* ・ 中澤 菜穂子* ・ 加藤 博和*

Yoshitsugu Hayashi, Nahoko Nakazawa, Hirokazu Kato

ABSTRACT; The magnitude of the impact on energy consumption and the environment is becoming heavily depending on national and urban spatial structures such as land use and transport. This paper attempts to review the researches dealing with the relationship between spatial structure and energy and/or the environment, and to understand the trend of the researches. Their main features are summarized by approach method and study area. Suggestions are also given for the future research in order to make further understanding of the spatial structure-energy/environment interaction.

KEYWORDS; spatial structure, energy consumption, environment

1 はじめに

人間活動が環境に及ぼす影響に関する研究は、1970年代において、まず産業起源の汚染について著しく進展した。例えば、この時期に工場（点汚染源）からの大気汚染物質の空間的拡散シミュレーション手法が確立された。その後この手法を応用して、道路交通（線汚染源）からの大気汚染物質拡散の予測も可能となり、交通が周辺環境に及ぼす影響の評価も実用に供されるようになった。

ところが最近では、汚染源の周辺における環境問題はもとより、都市活動が地球全体の環境に及ぼすインパクトを知ることが重要なテーマとなってきた。一方で、エネルギー消費や環境への負荷は、産業部門に比べて、生活を中心とした民生部門、あるいはそれらの活動の舞台である国土や都市の空間構造とそれに伴う交通に起因する部分が相対的に増加している。特に交通は、それ自身がエネルギー消費・環境負荷発生源であるとともに、その利便性によって土地利用、すなわち環境負荷発生源分布に変化を及ぼす。逆に、土地利用や都市配置の違いは、交通パターンを規定する主因である。更に、これら空間構造は、所得水準とそれに伴うライフスタイルの変化、土地利用計画や交通計画などよりなる空間計画や、土地税制などの経済的政策によって影響を受ける。

以上のような空間構造とエネルギー・環境との相互作用の解明は、都市や地球環境に関する研究の1分野として、ここ数年間において急速に進展しつつある。例えば先進国については、将来の立地変化とそれに伴う交通からの汚染物質についての空間的拡散シミュレーションが可能となってきたことに代表されるように、方法論が徐々に整備されてきている。一方、途上国を対象とした研究では、人口が急増する大都市での環境問題に焦点を当てた分析が多く行われるようになってきたとともに、大気、水質、廃棄物などを中心に負荷が生じていることが明らかにされつつある。モータリゼーションの進展も近年途上国で見られる現象であるが、その絶対レベルが先進国より相当低い段階から深刻な環境負荷を発生させていることも解明されている。

*; 名古屋大学工学部地圏環境工学専攻

Dept. of Geotechnical and Environmental Engineering, Nagoya Univ.

そこで本稿では、まだまだ系統的とはとても言えないが、各々の側面から、最近急速に進展してきたこの分野の研究、すなわち比較的最近の研究をとりあげ、空間構造を規定する土地利用、交通とエネルギー消費・環境負荷との関係を分析した研究がどこまで進展しているかを、相互に比較しつつ整理することとする。

2 アプローチ手法別にみた各研究の特徴

既往の各研究は、種々のアプローチ手法からみると多岐にわたるが、これらを分類すると、主に以下の4つのグループ分けができればよい。

- (1) マクロ指標を用いた比較分析
- (2) 現象の因果関係メカニズムを明らかにするシナリオ分析
- (3) 土地利用モデルおよび交通需要予測モデルの応用
- (4) 環境改善対策・課題の提示

以下では、この分類ごとに既往研究の特徴を概観する。

2.1 マクロ指標を用いた比較分析

第1の手法である比較分析では、すべての研究が都市における自動車使用とそれに伴うエネルギー消費増加を前提として、次のような項目について国間、都市間の比較を試みている：a)環境影響に対する自動車の寄与率、b)交通部門のエネルギー消費・環境負荷発生レベル、c)エネルギー消費・環境負荷発生量削減のための政策、d)都市の配置や形態。このアプローチの特徴は、複数の地域の状況を相対化することによって、環境影響の原因や対策を見いだそうとしている点である。

自動車の地球環境問題悪化への寄与を扱ったものとしてはFaiz(1993)¹⁾がある。この研究は、モータリゼーションの特徴、国および都市レベルでの主要大気汚染物質の排出における自動車の寄与率、自動車から発生する温室効果ガスの地球温暖化への寄与率、酸性化(acidification)とオゾン層への影響などを、先進国と途上国との比較で評価している。更に、対象を温室効果ガスにしほり、その削減政策に関して比較を試みた研究が、オーストラリア政府により行われている。Bureau of Transport and Communications Economics(1991)²⁾は、現行の業務用車への税制優遇政策の変更、自動車販売税と登録料の変更、交通燃料への炭素税の導入という3つの課税政策のオプションを、自動車市場への影響、燃料消費量の変化、自動車のタイプや走行距離への影響などで比較検討している。また同(1993)³⁾では、選択の際にコストの比較分析が必要であると思われる対策を、税制、法規制、交通管理政策、交通インフラなどの分野別に提示し、これらの対策を採用した場合の効果予測を比較している。

都市の形態あるいは構造と交通エネルギー消費との関係を都市間で比較分析しているものに、Mogridge(1985)⁴⁾と松岡・森田・有村(1992)⁵⁾がある。Mogridge(1985)では都市形態と交通モードが異なる2都市(ロンドンとパリ)において、都心からの距離と人口密度、平均家庭所得、自動車保有台数、移動時間、走行速度、エネルギー消費との関係をそれぞれ比較することによって、人口密度や公共交通の整備レベルよりも自動車保有台数の方がエネルギー消費に大きな影響を与えることを結論づけている。そして、分散化や公共交通対策よりも自動車の燃料効率を向上するという技術的対応を図るべきであることを提案している。これに対し、松岡・森田・有村(1992)は、まず世界の代表的な都市の構造(人口密度分布)と自動車交通からのCO₂排出量の関係を分析し、低密度都市ほどCO₂排出レベルが高いことを示している。次に、1国内での都市の分散の度合と、国民1人当たり換算した交通からのCO₂排出量との関係を実証的に分析している。また、先進国都市と中進国都市の比較から、先進国においては都市分散によって排出の大幅削減が可能であることを結論づけている。

Souleyrette, Sathisan, James, Lim(1991)⁶⁾は、交通と大気質の関係の分析や大気質改善のための交通規制対策

の効果の評価をするために、地理情報システム(GIS)が有効な道具であるかどうかを検討したものである。ラスベガス・バレーを対象地域として、交通と大気質の関係を分析している。

2.2 シナリオ分析

第2の手法であるシナリオ分析は、環境問題の発生メカニズムを明らかにしようとするものである。問題発生の主因を都市化と経済成長であると考えているものが多く、これが人口増加、モータリゼーションの進展、エネルギー消費の増加などの過程を経て環境問題を引き起こしているという分析が多い。この手法は、環境問題とその要因との因果関係を明確にすることによって、どの関係を断ち切れば現在の環境問題を解決でき、あるいは将来発生すると考えられる問題を予防できるかを見いだそうとするものである。

経済成長と都市化を人口増加で捉えているものに、Pernia(1991)⁷⁾とHosier(1991)⁸⁾がある。Pernia(1991)は、大都市への人口集中により貧困層が増えるとともに、交通インフラ、教育・厚生などの社会サービスの不足を引き起こし、この結果、水供給の不足や衛生状態の悪化など住環境に関するものだけでなく、大気汚染、水質汚濁、ゴミ問題といった都市公害を引き起こすというシナリオを、既に深刻な状況となっている東南アジアの途上国を対象に分析している。一方、Hosier(1991)は、今後都市化と工業化が進行するであろうと考えられる国として東アフリカを取り上げ、人口増加に伴う住環境の悪化、薪炭材を中心としたエネルギー消費の変化に伴う森林破壊などの環境問題の中・長期的に予測している。そして、これまでの途上国研究のほとんどは農村部の環境問題に集中していたが、都市に焦点を当てた研究を進める必要性があることを述べている。

都市化・経済成長がモータリゼーションを進展させ、汚染物質あるいはエネルギー消費が増加する点に注目したものにはMohan(1992)⁹⁾、林・富田・土井・スバラット・加藤(1992)¹⁰⁾、Hayashi,Tomita,Doi,Suparat(1993)¹¹⁾である。Mohan(1992)は、途上国における大都市の道路交通がどのように環境に影響するかを、車のタイプや燃料別に主要汚染物質の排出量で分析するとともに、道路インフラ建設や交通関連製造業(自動車製造、部品製造など)によって生じる大気、水質、生態系などの環境への影響も含めて分析している点が特徴であり、インドを事例にしたシナリオ分析である。林・富田・土井・スバラット・加藤(1992)では、交通エネルギー消費効率と、その都市形態および都市交通モードとの関連性を、都市間の比較(ロンドン、名古屋、バンコク)によってマクロ的に明らかにし、環境負荷削減方策の提示をしている。Hayashi,Tomita,Doi,Suparat(1993)は、モータリゼーションと道路社会資本の供給レベルの関係が都市の交通パターンやエネルギー消費を変化させ、大気汚染を引き起こすというシナリオを分析しているが、単なる時系列で都市間を比較し、将来を予測することに限界があることを指摘し、発展段階を軸にして将来を予測する新しい方法を提示したものである。更に、林・中澤・スバラット(1993)¹²⁾は、インフラ整備と環境との関係について、現代のバンコクと1960年代の東京との、同じ発展段階にある都市での比較を行って、バンコクにおけるインフラ整備とそのための財源制度の立ち遅れを指摘している。

Leitmann(1991)¹³⁾では、交通部門だけでなく都市全体におけるエネルギーの需要と供給の両面によって生じる環境への影響を分析している。エネルギーのタイプ別にその生産、変換、消費の各段階で環境にどのような影響があるのかを、影響マトリクスを作成することで分析しており、影響の指標として健康への被害、経済的成本、生態系の変化が使用されている。しかし、このマトリクスに実際のデータを投入して都市全体のエネルギーと環境の影響を分析するまでには至っていない。

2.3 土地利用モデルおよび交通需要予測モデルの応用

土地利用モデルや交通モデルの研究には、それぞれ膨大な蓄積がされてきている。前述したマクロ分析やシナリオ分析は、経済発展や都市成長といった長期的傾向や、公共投資への配分比率、自動車税制、燃料価格政策といった比較的大まかな政策の効果をみるのに適しているのに対し、土地利用モデルや交通モデルの

応用は、ネットワークの変更（環状道路や鉄道の新規整備）や住宅・商業業務・工業の立地変化といった属地的政策の分析が可能である。また、自動車利用依存度やそのトリップ長などは、地域の具体的な交通モード、ネットワーク等の極めて空間的な要因に支配されて決まるものであるが、この手法はこれらを詳細に考慮した上で、ネットワークの各区分におけるエネルギー消費量やCO₂等排出量を推計・評価できる。

（A）交通需要予測モデルと環境影響予測モデルとを組み合わせたもの

交通社会資本整備は、ただその地点の環境を変化させるだけでなく、ネットワークを伝わって都市圏全体の交通状況を変化させ、環境を変化させる。この現象を分析するために、従来の交通需要予測モデルと環境影響予測モデルを組み合わせた研究が幾つか提案されている。これらは、特に沿道環境への影響を知ることには主眼が置かれている。例えば森地・兵藤・岡本(1992)¹⁴⁾は、東京湾横断道路が開通した場合の房総半島の道路網の各道路区分における交通量および自動車からのNO_x排出量の変化を求めている。

更に、実用性の高い交通計画策定支援システムへの発展を目指し、a)コンピュータ上での1つのシステムへの総合化、b)政策分析能力の拡大、c)環境評価指標の整理、d)予測結果の表示能力の向上が図られてきた。その試みの端緒は森口・西岡(1989)¹⁵⁾に見られる。黒川(1993)¹⁶⁾は、高速道路網整備および多核型都市構造政策による交通量変化とそれに伴う環境負荷発生量変化を予測するシステムを提案している。林・加藤・望月(1993)¹⁷⁾は、交通モデルと環境影響モデルを統合した汎用性のある環境影響分析システムを構築し、交通量の増減や速度低下の影響などを考慮した、自動車交通による環境負荷発生・沿道大気汚染濃度変化のメカニズムのモデル化を行っている。Taylor(1993)¹⁸⁾は、交通－燃料消費－汚染物質排出－周辺環境への影響というプロセスの一般的な定式化を試みている。更に森口・西岡・清水(1993)¹⁹⁾では、交通量変化による環境影響を予測・評価するシステムとして「広域交通公害シミュレーション・システム（RTPSS：Regional Traffic Pollution Simulation System）」が構築されている。このシステムを利用して、モーダル・シフトや道路網整備が道路交通量に及ぼす変化からNO_xの排出総量、単位面積あたり排出量、および曝露被害人口を求めることが可能であり、将来的には地球環境に関する項目も評価に加えることを目指している。

（B）土地利用－交通モデルと環境影響予測モデルとを組み合わせたもの

交通社会資本整備は、長期的には地域の土地利用形態を変化させ、都市構造自体を変化させる。一方、住宅や工業などの立地形態が変化することによって、交通需要にも変化が及ぶ。このように、交通と土地利用との間には相互作用が生じる。このことを踏まえ、土地利用と交通との相互作用をモデル化するものが土地利用－交通モデルである。これと環境モデルを組み合わせることによって、交通社会資本整備の長期的な影響が予測できるとともに、土地利用政策が交通需要変化を通して環境に及ぼす影響も予測可能になる。

土地利用－交通モデルの環境への応用は、理論的アプローチと、実際の政策分析ツールを目指すものと大きく分けられる。

理論的アプローチとして、Martinez(1993)²⁰⁾は、ミクロ経済理論を厳密に取り入れた土地利用－交通のモデル化を行った上で、ロード・プライシング、公共交通機関への補助金、土地利用税の3種の都市環境関連政策を実施した場合の、交通需要や地価、立地状況の変化を論じている。Hensher, Milthorpe, Zhu(1993)²¹⁾も、同様のアプローチから土地利用－交通－環境モデリングを試みている。

実際の都市に関して政策を分析したものとしては、Wegener(1993)²²⁾やRoy, Marquez(1993)²³⁾の研究がある。まずWegener(1993)は、ドイツのドルトムント大都市圏において、交通の費用および速度の変化に伴い、交通起源のCO₂排出量がどの程度削減できるかについてシミュレーションを行っている。その結果、ドルトムント都市圏のように著しい市街地拡大の見られない地域では、自動車走行費用の増加と公共交通機関の質の向上という交通政策上の手段を組み合わせることにより、モビリティ低下、消費者余剰の社会階層間・空間格差、公共部門の支出増加をもたらすことなく、エネルギー消費量、CO₂排出量をかなり削減できることを示している。Roy, Marquez(1993)は、土地利用－交通統合モデルを用いて、トリップ長、トリップ時間とともに、交通エネルギー消費、CO₂排出量の各評価指標を推計している。政策として、副都心の個数、都市合併、

CBDのサイズを取り上げて分析し、エネルギー消費の抑制と消費者の満足との間には多少のトレード・オフが存在するという、Wegener(1993)とは異なった結果が示されている。

また、土地利用－交通モデルにおいても、実用性・政策分析能力・入出力部の改善を重視する研究が見られる。Seetharam, Shibasaki, Nakamura(1990)²⁴⁾は、土地利用－交通－環境モデルのデータ入出力部分に地理情報システム (GIS) やエキスパート・システムを導入して、環境影響の属地的な評価を可能とする総合システムを構築している。Young, Gu(1993)²⁵⁾は、土地利用－交通－環境連関モデルの教育的ツールの紹介である。このモデルにおいて環境サブモデルは、やはり交通に起因する燃料消費・大気汚染や騒音を推計するものになっている。

以上の研究は、土地利用－交通に関する政策を実施した場合の環境影響をみるものであったが、従来は空間を捨象した計量経済モデルで分析が行われてきた経済的施策による効果の分析に土地利用－交通モデルが応用された例もある。奥田・林(1993)²⁶⁾は、交通市場を定量的に扱う手法としての交通ネットワーク均衡モデルと、空間的に分布する複数の一般市場を扱う手法としての地域間産業連関モデルを統合したモデルによって、環境税の導入による運輸部門からの環境負荷削減効果の分析を試みている。

土地利用－交通モデルの応用には、交通以外から発生する環境影響を扱ったものもある。例えばDoi, Okamoto(1993)²⁷⁾は、高速道路整備によって、森林や農業地域が都市的利用にどの程度変化するかについて、都市郊外部のレクリエーション地域をケース・スタディにとって分析を行っている。

そのほかに、システムダイナミックスを応用して活動立地モデルに環境指標を組み込んだものとして、新井(1993)²⁸⁾がある。これは、地域開発政策が産業、経済、社会の状態をどう変化させ、環境にどう影響を及ぼすかを分析するために、都市の成長と広域化の機構を長期統計データから明らかにし、名古屋都市圏の多地域連動・動学モデルを構築したものである。

2.4 環境改善対策・課題の提示

環境を改善し、また保全するためにはどうすればよいかを議論している研究の中には、比較分析やシナリオ分析に基づいて実際に採用できるような具体策や方向性を提示したもの、一般論の提示で終わっているもの、あるいは今後の課題をまとめたものがある。提示された対策の中には、土地利用政策、インフラ整備、交通政策、経済的インセンティブなどの政策が多く含まれている。

具体的な対策を挙げているものに、Hanson(1989)²⁹⁾、Bovy(1989)³⁰⁾、Kroon(1989)³¹⁾が見られる。Hanson(1989)では、発展途上国の大都市の多くは自動車を中心とした交通システムをとり、これが環境問題の主因であるということから、今後途上国の都市が持続的であるためには交通を中心とした開発政策を策定する必要があるとしている。そこで、メキシコシティ、ジャカルタを取り上げ、人口増加、経済成長、交通形態、エネルギー使用などの変数で作成された4つのシナリオに基づいて、土地利用規制、交通インフラ整備、自動車保有制限などに関する政策を提言している。Bovy(1989)とKroon(1989)は、自動車による環境負荷の軽減のため現在実施されている政策を評価することによって、今後の都市・環境政策の方向性を示したものである。ヨーロッパ大陸という中で自国で発生した環境負荷が他国へも影響を及ぼすという現状を踏まえた分析である。Bovy(1989)は、ジュネーブがスイスで自動車保有台数の最多都市であり、ヨーロッパでの交通要衝となっていることから、今後、都市内だけでなく、国、地域レベルでの環境保全の努力が必要であるという認識のもとに行われている研究である。スイス連邦環境法に適合した都市環境を形成するためには、住民に支持されるような交通管理と生活環境の改善や景観の保全などが一体化した都市交通・環境政策を展開させていくべきであることを提案している。また、都心の公共交通だけでなくその周辺への放射状道路の延長とジュネーブ湖横断道路の建設により、交通渋滞緩和と環境負荷を削減するという計画案が住民の支持を得ていることを紹介している。Kroon(1989)は、オランダでは自動車交通が酸性化やオゾン層に与える影響が大きいという分析のもとに、現在実施されている政策をレビューすることによって、今後自動車台数の削

減のために公共交通の整備、ロード・プライシングの導入などの計画を論じている。

Olpadwala, Goldsmith(1992)³²⁾は、第三世界の都市ではその社会組織（貧富の格差）と経済成長・都市化による貧困が環境問題の根源であるとし、これまでの先進国の都市政策の模倣を見直し、現地の社会・経済システムに即した都市・環境政策を提案し、特に社会改革の必要性を強調している。Faiz, Carbajo(1991)³³⁾では、途上国において自動車が大気汚染に大きな影響を与えていることをメキシコシティを事例として認識し、一般論として排ガス規制対策と、その実施のための経済的手段および組織的対応を提示している。菅(1991)³⁴⁾は、日本の交通関係社会資本整備計画の中で地球環境問題はこれまでほとんど配慮されておらず、具体的な方策が示されてこなかったことを振り返り、今後、地球環境を保護する視点からの投資を考える必要があることを念頭に置いた、交通関係社会資本投資への提言を行っている。

Miyamoto, Udomsri(1994)³⁵⁾は、地球環境問題を意識し、バンコクでの土地利用、交通、環境の関係とともに、計画とその実施における現状と問題点をも認識することによって、今後の途上国関連の研究課題について提示している。

3 研究の対象地域別特性

これまでの研究を対象地域別に分類すると、先進国と発展途上国に大きく分けられる。それぞれの地域で研究の対象となっている環境問題とその要因、および政策の内容の特徴が、以下のようにまとめられる。

3.1 先進国

先進国において研究テーマとなっている環境問題は、交通公害を中心とした都市環境問題がほとんどであり、その現状把握と改善のための政策検討に焦点が当てられている。都市単位だけでなく、周辺地域を含めた広範な地域を対象とした松岡・森田・有村(1992)⁵⁾、環境汚染防除のみでなく住環境の改善や自然環境の保全を一体的に考える政策の必要性を示したBureau of Transport and Communications Economics(1991)²⁾、同(1993)³⁾やBovy(1989)³⁰⁾のように、地球環境問題への対応における先進国の立場を視野に入れた政策比較検討など実務的な研究が多い。経済成長と都市化を基にした環境問題発生メカニズムを分析したものが少ないが、環境問題が生産活動、生活、都市形成などにかかわってくることを考えると、社会システム全体のメカニズムを把握することは必要である。

先進国では環境指標を始めとする関連データが蓄積されているため、林・加藤・望月(1993)¹⁷⁾、Wegener(1993)²²⁾、Roy, Marquez(1993)²³⁾、Young, Gu(1993)²⁵⁾のようにモデルを使用した環境への影響分析を行っているものも多く、更にMartinez(1993)²⁰⁾、森口・西岡・清水(1993)¹⁹⁾、Roy, Marquez(1993)²³⁾のような、分析の結果に基づいた政策の提示と効果の分析および比較検討の研究例もある。

3.2 発展途上国

途上国における環境に関連した研究は、最近の地球環境問題への認識の高まりとともに多く見られるようになったが、いまだ空間構造に関連する分野では環境問題を意識した研究は少ないと言える。その中でも、経済成長と都市化の急速な進行により、都市環境問題に関心が向けられるようになっている。特に都市化と経済成長に伴う環境問題の発生メカニズムの分析や、現在発生している環境問題の状況、今後の予測を議論したものが多く、しかし、Faiz(1993)¹⁾、Pernia(1991)⁷⁾、Hosier(1991)⁸⁾、Mohan(1992)⁹⁾、Faiz, Carbajo(1991)³³⁾のように現時点での状況を記述するスタティックなものが一般的であり、過去からの経験に基づいて現在、将来を継続的に展望した研究が不足している。またこれらの研究では、都市化の指標として都市人口比率を扱っており、都市の居住パターンや産業活動、都市化の段階について論じたものはほとんどみられない。

対象とする範囲は、途上国全体を対象としているFaiz(1993)¹⁾、Olpadwala,Goldsmith(1992)³²⁾のようなものと、個別の国あるいは都市を取り上げたPernia(1991)⁷⁾、Hanson(1989)²⁹⁾、Faiz,Carbajo(1991)³³⁾のようなものがある。特に、東南アジア(タイ、インドネシア、マレーシアなど)、南米(メキシコ)の大都市が事例として多く取り上げられているが、人口成長、経済発展やモータリゼーションなどの都市成長の急速な進展がどう環境に影響を与えているかを示すデータが不十分であり、問題や影響の程度は必ずしも明確にはされていない。

環境問題の種類としては、先進国と同じ交通による大気汚染以外に、生活環境に関連するものも見られる。しかし、近年これらの環境指標がわずかに蓄積、分析されてきているにとどまるため、現状の記述に終始しているものが多い。

このように、環境問題発生メカニズムや、環境問題の要因の特徴の変化は十分に把握、認識されていないため、早急に何らかの政策を講じる必要があることがわかっているにもかかわらず、具体的な政策を提示することができていないのが現状である。

3.3 先進国と発展途上国の両方を包含した比較

Newman,Kenworthy(1991)³⁶⁾は、都市環境についてのほとんど唯一の網羅的データ集である。世界の先進国、発展途上国の約30の都市の人口、産業、交通、エネルギー消費などの平均値を集めたものであり、これが多くの研究を触発したといってもよい。

Faiz(1993)¹⁾、林・富田・土井・スバラット・加藤(1992)¹⁰⁾、Hayashi,Tomita,Doi,Suparat(1993)¹¹⁾は、先進国と途上国の両方を併せて都市間比較している研究であるが、Faiz(1993)は、各都市間を類似時点のデータを用いて比較し、環境への影響レベルの差を示している。一方、林・富田・土井・スバラット・加藤(1992)、Hayashi,Tomita,Doi,Suparat(1993)は、経済および都市化の発展段階を軸に、先進国と途上国とを連続的に一般化して把握し、各段階で必要とされる環境負荷削減方策を示している。

4 まとめ

空間構造とエネルギー・環境に関する既往研究は、環境への負荷発生源でみると、交通部門に着目したものが多く、民生・産業部門に関する空間構造を考慮した分析はほとんどない。また、交通以外のインフラ(供給・処理施設、公園、教育施設など)の整備と環境との関連性を対象とした研究もほとんどみられない。国土や都市の土地利用や税制に関しては、各々が土地利用に及ぼす影響を分析した研究は蓄積されているものの、それが環境に及ぼす影響にまで踏み込んだものは非常に少ない。

また、既往研究の大多数では、交通状況によるエネルギー消費の変化が環境に負荷を与えるという関係の分析が行われている。空間構造に関わる問題には、都市交通の他にも都市と農村の依存関係、労働力や物資の移動などが考えられるが、これらの視点を取り込んだ研究はほとんどみられない。また、住宅・工業等の立地状況が環境に及ぼす影響の分析もいまだ不十分である。地球環境問題に対処するためにも、空間的にも対象としても極めて部分的な都市交通分析にとどまらず、より視野を広げた研究を行っていく必要がある。

更に、交通が環境に及ぼす影響を考える場合には、従来は交通インフラ供給時のエネルギー消費・環境負荷発生に関する分析がほとんどなされていない。インフラの設計や施工法の違い、また、どのような種類のインフラをどのレベルまで整備するかによって、その建設に伴うエネルギー消費・環境負荷発生量は大きく異なってくる。例えば、新規の鉄道整備は、建設時には施工によるエネルギー消費が行われるが、供用後はモーダル・シフトによって交通エネルギー消費を減少させる効果を持つ。この例からも明らかなように、交通インフラを、建設、寿命期間中の利用、維持管理を含めてエネルギー消費の少ない設計とする手法に関する研究は大きなテーマであると思われる。

最後に途上国などで見られる環境問題は、インフラの需要に対して供給が全く追いつかないことに起因していることが多い。このことから、需要に比例した財源を組み込んだ財政システム、および事業化方式の研究も最重要課題の一つであると考えられる。

謝辞

本論文は、土木学会地球環境委員会および岐阜大学土木工学科、森杉壽芳教授からその機会を与えられて著したものである。また、本論文のとりまとめに際しては、名古屋大学地圏環境工学専攻の京谷孝史助教授、佐々木葉助手に貴重なコメントをいただいた。以上、ここに記して謝意を表すものである。なお本研究は、旭硝子財団助成研究（代表：林良嗣）および、文部省重点領域研究「人間－地球系」（代表：安井至・東大教授）の一部である。

参考文献

- 1) Azif Faiz(1993): Automotive Emissions in Developing Countries - Relative Implications for Global Warming, Acidification and Urban Air Quality, Transport Research Vol.27A, No.3, pp.167-186.
- 2) Bureau of Transport and Communications Economics, Australia (1991): Reducing Greenhouse Gas Emissions in Transport: Some Tax Policy Options
- 3) Bureau of Transport and Communications Economics, Australia (1993): Costs of Reducing Greenhouse Gases in Australian Transport
- 4) M.J.H. Mogridge(1985): Transport, Land Use and Energy Interaction, Urban Studies Vol.22, No.1, pp.481-492.
- 5) 松岡譲、森田恒幸、有村俊秀(1992): 都市構造及び都市配置と地球温暖化 = 都市計画論再考 =、季刊環境研究 No.86、pp.51-65.
- 6) Reginald R. Souleyrette, Shashi K. Sathisan, David E. James and Soon-tin Lim(1991): GIS for Transportation and Air Quality Analysis
- 7) Ernesto M. Pernia(1991): Aspect of Urbanization and the Environment in Southeast Asia, Asian Development Review Vol.9, No.2.
- 8) R. Hosier(1991): Energy and Environmental Management in Eastern African Cities, Stockholm Environment Institute
- 9) Dinesh Mohan(1992): Road Transport and the Environment in Less Industrialized Countries, IATSS Research Vol.14, No.2, pp.55-68.
- 10) 林良嗣、富田安夫、土井健司、スバラット・リチカ、加藤博和(1992): 都市交通によるエネルギー消費およびその環境負荷への影響に関する比較、土木計画学研究・講演集 No.15(1), pp.939-944.
- 11) Hayashi Y., Tomita Y., Doi K., and Suparat R.(1993): An International Comparative Study on Land Use Transport Planning Policies as Control Measures of Urban Environment, Selected Proceeding of the Sixth World Transport Conference on Transport Research, pp.255-266.
- 12) 林良嗣、中澤菜穂子、スバラット・リチカ(1993): バンコクと東京の比較に基づく都市インフラ整備と環境負荷の分析、日本都市計画学会学術研究論文集 No.28, pp.427-432.
- 13) Josef Leitmann(1991): Energy-Environment Linkages in the Urban Sector, UNDP/World Bank/UNHCS
- 14) 森地茂、兵藤哲朗、岡本直久(1992): 観光地の道路ネットワークに係わる環境影響分析、文部省「人間環境系」重点領域研究報告集 G056-N30B、pp.64-65.
- 15) 森口祐一、西岡秀三(1989): 道路交通公害の広域的評価のための指標と支援システム、土木計画学研究・論文集 No.7、pp.67-74.
- 16) 黒川洸(1993): 広域交通幹線整備と多極分散型都市構造政策が広域都市圏の交通環境に及ぼす影響、文部

省「人間環境系」重点領域研究報告集 G071-N30B、pp.53-54.

17) 林良嗣、加藤博和、望月昇(1993): 都市の道路網整備が大気環境に及ぼす効果の分析システム —都市環状道路のケーススタディとともに—、環境システム研究 Vol.21、pp.289-299.

18) M.A.P. Taylor(1993): Incorporating Environmental Planning Decision in transport Planning: A Modelling Framework, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination"

19) 森口祐一、西岡秀三、清水浩(1993): 広域的な道路交通公害対策による環境改善効果の予測システムの開発、土木計画学研究・論文集 No.11、pp.279-286.

20) Francisco J. Martinez(1993): Analysis of Urban Environmental Policies Assisted by Behavioural Modelling, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination"

21) David A. Hensher, Frank W. Milthorpe, William Zhu(1993): Greenhouse Gas Emissions and the Demand for Urban Passenger Transport: Specification of The System of Location, Travel and Vehicle Choice Models

22) Michael Wegener(1993): Reduction of CO2 Emissions of Transport by Reorganization of Urban Activities, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination"

23) John R. Roy and Leorey O. Marquez(1993): SUSTAIN - A Model Investigating Sustainable Urban Structure And Interaction Networks, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination"

24) Seetharam,K.E., Ryosuke Shibasaki, Hideo Nakamura(1990): Integration of geographical information and expert systems for EIA in urban transportation planning、土木計画学研究・論文集No.8、pp.281-288.

25) William Young and Kevin Gu(1993): Modelling the land use-transport-environment interaction, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination"

26) 奥田隆明、林良嗣(1993): 運輸部門を通じた環境税の影響分析手法 —地域間産業連関モデルと交通ネットワーク均衡モデルの統合モデル—、土木計画学研究・論文集 No.11、pp.271-278.

27) Kenji Doi, Naohisa Okamoto(1993): Highway Improvement and Its Impact on Deforestation and Urbanization -Theory and Case Study in Suburban Recreational Area-, WCTR SIG 1 Seminar on "Environmental Challenge in Land-use Transport Coordination"

28) 新井健(1993): 都市の広域化の地域システム・モデル —開発途上諸国への適用を目指して—、文部省「人間環境系」重点領域研究報告集 G089-N36B-02

29) Mark E. Hanson(1989): The Motor Vehicle Dominated City As A Non-sustainable Urban Form: Mexico City and Jakarta, Comput., Environ. and Urban Systems, Vol.13, pp.95-108

30) H. Bovy(1989): Case Study Geneva - Switzerland, International Training Seminar on Ecologically Sound Methods in Organizing Urban Transportation Systems, UNEP

31) Martin Kroon (1989): Traffic and Environmental Policy in the Netherlands

32) Porus Olpadwala and William W. Goldsmith(1992): The Sustainability of Privilege (Reflections on the Environment), the Third World City, and Poverty, World Development Vol.20, No.4, pp.627-640.

33) Asif Faiz and Jose Carbajo(1991): Automotive Air Pollution Control Strategic Options for Developing Countries, World Bank

34) 菅恭(1991): 交通関係社会資本整備と地球環境問題、運輸と経済 第51巻、第9号、pp.32-39.

35) Kazuaki Miyamoto and Rungsun Udomsri (1994): Present Situations and Issues of Planning and Implementation Regarding Land-Use and Transport in Developing Metropolises, J. Infrastructure Plan and Man. , No.482/IV-22, pp.87-97.

36) Peter Newman, Jeffrey Kenworthy (1991): Cities and Automobile Dependence: An International Source Book, Gower