

21. 日本における低炭素旅客交通システム 実現のための地域別施策実施量の推定

伊藤 圭^{1*}・柴原 尚希¹・加藤 博和¹

¹名古屋大学大学院環境学研究科(〒464-8603名古屋市千種区不老町C1-2(651))

* E-mail: k.ito@urban.env.nagoya-u.ac.jp

2050年における日本の地域内旅客交通起源CO₂排出量を2000年比で80%削減するという目標を設定し、その達成のために必要となる交通施策の実施量を地域別に求める。まず、2000年の人口あたり排出量を推計し、この値の20%を各地域交通圏に割り振り、2050年における目標値とする。一方、2050年における排出量を予測し、目標達成のため必要となる削減量を把握する。交通施策として幹線区間における大量輸送機関の導入を想定し、路線建設と運行を考慮したLC-CO₂を最小とする輸送機関とその導入延長を算出する。以上の手法により、2050年におけるCO₂削減目標の達成のため、各地域交通圏において必要となる交通施策がその実施規模とともに示される。

Key Words : EST(Environmentally Sustainable Transport), backcasting, trunk transport system, life cycle CO₂, low carbon emission transport

1. はじめに

IPCC は、温室効果物質排出増加に起因する気候変動が生態系に及ぼす不可逆な悪影響を回避するには、気温上昇を全球平均で 2℃以内にとどめる必要があり、そのためには 2050 年における CO₂排出量を 1990 年比で半減する必要があるという見通しを公表している¹⁾。OECD が 1990 年代後半に実施した EST(Environmentally Sustainable Transport : 環境的に持続可能な交通)プロジェクトは、この高い目標設定を先取りした上で、それを達成するためにいかなる施策が必要かを見出すという「バックキャスティング・アプローチ」によって運輸部門における対応方策を検討した。その結果、今後見込まれる車両・エネルギー技術の向上だけでは実現が困難であり、交通システムの見直しも併せて実施する必要がある、という提言を行っている²⁾。日本では「EST プロジェクト」が 2004 年度から開始され、先進的な取組を行う自治体への支援体制が整備されたが、あくまで京都議定書の目標達成を念頭に置いたものであった。しかし、北海道洞爺湖サミット等を経て、CO₂の長期的大幅削減を目指した低炭素型社会づくりが日本においても重要な政策課題となってきた。内閣府による「環境モデル都市」はまさにバックキャスティング・アプローチに基づく長期的な都市政策検討の試みである。この流れの中で EST 実現策検

討も非常に重要な位置づけを与えられることとなった。

バックキャスティング・アプローチによる EST 実現策の検討に関して、中村ら³⁾は、市区町村規模グループ別の運輸部門 CO₂排出量を推計した上で、削減必要量を達成するための運輸部門における施策量を推計している。その結果、単一施策だけでは困難であり、複数施策の組み合わせが必要であることを示している。しかし、施策の実施必要量を定量的に示すには至っておらず、目標設定も 2010 年における排出量を 1990 年レベルに抑えるというものであった。

そこで本研究では、2050 年における日本の旅客交通部門 CO₂排出量の目標値を設定し、その実現に必要な交通施策の導入量を地域ごとに算出する。交通施策として公共交通機関の整備と、それを支援する端末交通手段確保や利用促進といった施策のパッケージによって輸送人 km あたりの CO₂排出量が多い自家用車(軽乗用車・乗用車)利用を削減することを想定する。本研究においては公共交通機関の新規導入必要量を求める方法を提案する。なお、公共交通機関を整備するにはインフラ建設等による CO₂排出が伴うため、これらの部分を考慮するために LCA(Life Cycle Assessment)を適用する。

2. 分析の考え方

(1) CO₂削減目標値の設定と施策検討の手順

2050 年における日本の旅客交通部門 CO₂ 排出量を 2000 年比で 80%削減するという目標を設定する。(1990 年でなく 2000 年としたのは、推計におけるデータの利用可能性に基づくものである。) そのために必要な EST 施策の実施規模をバックキャスティングによって示す。EST 施策は、技術施策(車両・燃費の改善に関する施策; EST1)と、交通施策(交通行動を変更させる施策; EST2)の 2 つに分けられる。本研究では、EST1 についてはシナリオを外生的に与え、その前提で削減目標を達成するために EST2 施策を各地域でどの程度実施する必要があるかを推計する。

EST2 施策の軸となるのは、自家用車交通からの転換の最大の受け皿となる、幹線部への CO₂ 排出の少ない輸送機関の導入である。一般に、軌道系輸送機関は走行に伴う利用者 1 人あたり CO₂ 排出量が自家用車に比べて小さい。しかし、これは大量輸送によって実現されるものであり、幹線輸送機関の導入が CO₂ 削減効果を発揮するには高い輸送密度が必要となる。この条件を満たすためには、沿線の人口密度が高く、また沿線人口も多いことが必要である。日本は今後、人口が減少していくことから、それとともに都市域を縮小することで、人口密度を維持し、可能であれば高めていくことが必要と言える。本研究で提案する方法はこのような検討を可能とすることを旨とする。

具体的な施策検討プロセスとして、まず、車両・燃料技術の向上を見込んだ上で 2050 年における旅客交通起源 CO₂ 排出量を予測し、排出目標値との差分を把握する。その上で、分析評価の空間単位として地域交通圏を設定し、各交通圏ごとに CO₂ 最小となる輸送機関の選定を行い、目標値の達成に必要な整備量を示す。幹線輸送機関の導入量算出フローを図-1 に示す。

(2) 分析の空間単位(地域交通圏)の定義

地域の交通体系は、市区町村単位を越えた範囲で、1 つのまとまりをもって形づくられている。一般には、経済的・社会的な連携が深い生活圏が、中心都市とその郊外地域を結ぶ形で成立している。そこで、EST 施策の検討においても、生活圏の範囲を分析単位として扱う。圏域の設定方法は様々考えられる。交通体系を形づくる最も基本的な要素は通勤・通学による人の動きであるため、本研究では、従業地・就業地の関係に着目した圏域設定を行っている金本ら⁴⁾による都市雇用圏の定義を用いて、「地域交通圏」を 274 個設定する。また、各地域交通圏に属する市区町村を表-1 のように中心都市(C)、周辺都

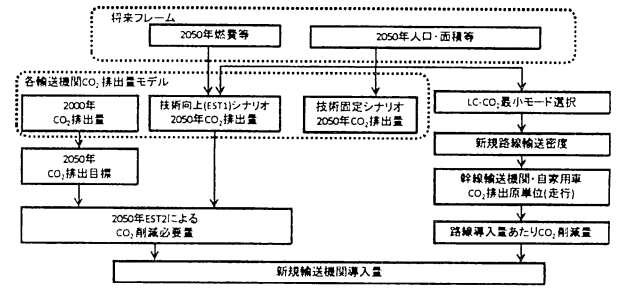


図-1 幹線輸送機関導入量算出フロー

表-1 推計に用いた市区町村分類

都市分類	分類方法
1)中心都市(C) 285市区町村 総人口比 48.8%	a)人口 10 万人以上、昼間人口/夜間人口 ≥ 1.00 b) a)で定義した都市のうち、都市間距離が 20km 以内
2)周辺都市(S) 1,848市町村 総人口比 43.4%	a)中心都市への通勤・通学者が 500 人以上 b)中心都市への(通勤・通学者)/(在住通勤・通学者) >0.05 a), b)の基準より 2 つ以上の都市圏に含まれる場合、中心都市への通勤・通学者の多い方の都市圏に含まれるとする。
3)非都市(R) 1,097市町村 総人口比 7.8%	中心都市、周辺都市に含まれない市町村

市(S)、非都市(R)に分類する。中心都市は地域交通圏におけるそれであり、それ以外の市町村が周辺都市となる。さらに、地域交通圏に属さない市町村が非都市である。

3. 旅客交通起源CO₂削減必要量の算出

(1) 現状(2000年)の排出量の把握

2050 年における旅客交通起源 CO₂ 排出量の目標値を決定するため、まず、2000 年における排出量を推計する。推計対象の輸送機関は自家用車、バス、鉄道とする。また、推計、将来予測はすべて市区町村(2000 年現在)単位で行う。以下に各輸送機関について推計方法を述べる。

a) 自家用車・バス

市区町村別に集計した車種別の走行距離に、CO₂ 排出原単位を乗じることにより推計する(式(1))。

$$E = \left(\sum_k L_k^{\text{weekday}} + \sum_k L_k^{\text{holiday}} \right) \cdot e_k \quad (1)$$

ここで、 E : CO₂ 排出量、 L_k : 車両走行距離、 e_k : CO₂ 排出原単位、 k : 車種(乗用車・軽乗用車・バス)

走行距離は、データを全国的に得ることができる道路交通センサス自動車起終点調査の結果を用いて、車両登録地ベースで推計を行う。排出原単位には、松橋ら⁵⁾に

よって表-2のように整備された車種別の値を用いる。

b)鉄道

平成 12 年度鉄道統計年報を用いて CO₂ 排出量を推計する。まず、事業者別に集計された電力・燃料消費量を「輸送人 km」に応じて各路線に按分する。それに使用エネルギー別 CO₂ 排出原単位⁹⁾を乗じることで路線ごとの CO₂ 排出量を推計し、さらに、駅数に応じて市区町村へ按分する。

a)、b)の方法で推計した各輸送機関の CO₂ 排出量の合計値を 2000 年における旅客交通起源 CO₂ 排出量とする。その全国市区町村での推計結果を図-2 に示す。市区町村別でみると、人口 1 人あたりでは地方部での排出量が多い。これは、大都市では公共交通が充実している一方、地方部では自家用車に依存した交通形態であることによる、人 km あたり CO₂ 排出原単位の差異が主な原因であると考えられる。

市区町村別で推計した CO₂ 排出量は地域交通圏単位で集計する。次に各地域交通圏が 2050 年において達成すべき CO₂ 排出目標値を算出する。まず、2050 年における全国の CO₂ 排出目標値を 2000 年の総人口で除し、1 人あたり CO₂ 排出目標値に換算する。この値を各地域交通圏の人口に応じて割り振ることで各地域交通圏の CO₂ 排出目標値とする。

(2) 将来(2050年)の排出量予測モデルの構築

a) 自家用車

2050 年における CO₂ 排出量の予測のため、表-1 の分類に従い、i) 保有台数モデルと ii) 1 人あたり走行距離モデルを構築する。

i) 保有台数モデル

地域特性に応じたモデルとする。

・中心都市(C)

・式(2)のコブ・ダグラス型関数で表現する。

$$y_{Ci} = \exp(\alpha_0) \cdot D_{di}^{\alpha_1} \cdot A_{Ci}^{\alpha_2} \cdot R_{Ci}^{\alpha_3} \cdot \exp(\alpha_4 \cdot d_s) \quad (2)$$

ここで、y：自家用車保有台数[台]、i：都市、D_d：DID 人口密度[人/ km²]、A：生産可能年齢人口[人]、R：1 人あたり道路延長[km/人]、d_s：鉄道駅ダミー(d_s=0, 1)、α₀、α₁、α₂、α₃、α₄：パラメータ

・周辺都市(S)

自身が所属する地域交通圏の中心都市から影響を受けると考え、その中心都市の自家用車保有台数に、修正係数 g(式(4))を乗じて求めるものとする(式(3))。

$$y_{Si} = y_{Ci} \cdot g \quad (3)$$

$$g = \beta_0 \cdot D_r^{\beta_1} \cdot \left(\frac{R}{R_{Ci}}\right)^{\beta_2} \cdot A_r^{\beta_3} \quad (4)$$

表-2 車種別走行起源CO₂排出原単位

車種	原単位[g-CO ₂ /台 km]
軽乗用車	219
普通乗用車	292
バス	756

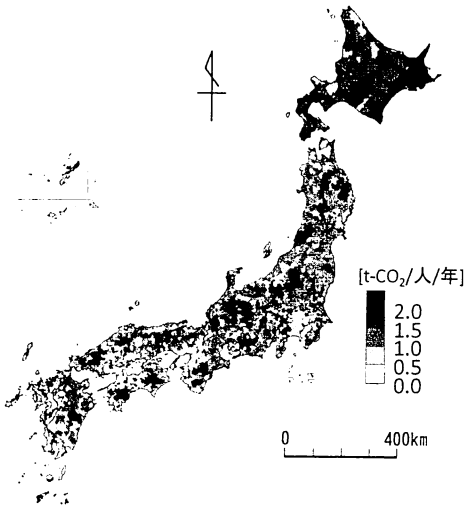


図-2 1人あたり旅客交通起源CO₂排出量
(2000年、市区町村別)

表-3 自家用車保有台数モデル<中心都市>
(式(2))のパラメータ推計結果

変数名	パラメータ	t値	自由度調整 済み R ² 値
定数項	1.71	6.97	0.987
DID 人口密度 [人/km ²]	-0.230	-6.67	
生産可能年齢人口 [人]	1.01	92.2	
1人あたり 道路延長 [km/人]	0.0805	4.10	
鉄道駅ダミー	0.0605	2.19	

表-4 自家用車保有台数モデル<周辺都市>
補正関数(式(4))のパラメータ推計結果

変数名	パラメータ	t値	自由度調整 済み R ² 値
定数項	-0.0207	-14.4	0.586
可住地人口密度 [人/km ²]	0.0722	10.3	
1人あたり 道路延長比率	0.144	18.9	
生産年齢 人口割合	0.807	11.1	

ここで、 D_r ：可住地人口密度[人/km²]、 R_q ：所属中心都市 1 人あたり道路延長[km/人]、 A_r ：生産可能年齢人口割合、 β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 ：パラメータ

・非都市(R)

非都市地域では、既に保有率は飽和状態に近い状況であり、幹線輸送機関整備も困難であると考えられる。そこで、今後の高齢者の自動車免許保有率の上昇を考慮し、2050 年には 20 歳～75 歳の住民が 1 人につき 1 台の自家用車を所有すると仮定する。

表3・表4に、2000 年の市区町村データを用いて自家用車保有台数モデル(式(2)、(4))のパラメータを推定した結果を示す。

ii)走行距離モデル

走行距離モデルについても、自家用車保有台数モデルと同様にコブ・ダグラス型関数で構築する(式(5))。なお、1 台あたり走行距離は市区町村別データでは明確な傾向が得られないため、都道府県単位でのモデルとする。

$$L = \gamma_0 \cdot D_r^{\gamma_1} \cdot S_t^{\gamma_2} \tag{5}$$

ここで、 L ：自家用車 1 台あたり走行距離[km/台]、 S_t ：駅密度[駅数/km²]、 γ_0 、 γ_1 、 γ_2 ：パラメータ

表5に、走行距離モデルのパラメータ推計結果を示す。

b)バス・鉄道

バス・鉄道については、運行量と輸送需要の変化が必ずしも一致しないことから、運行量のモデル化は行わず、前節で設定した運行量が輸送需要にかかわらず維持されるという仮定を置く。

(3)車両・燃料技術シナリオの設定

各交通機関の排出原単位は、燃料・車両技術固定シナリオ(これは 3 章 1 節で算出した値とする)と、技術向上シナリオ(EST1)別に値を設定する。

技術向上シナリオには「超長期エネルギービジョン 2100」⁷⁾を参考に、2050 年における各輸送機関の車種構成、エネルギー消費量を表6のように設定する。自家用車は渋滞によって原単位が悪化すると考えられるが、本研究では一定値と仮定している。なお、ハイブリッド車や電気自動車は加減速時の CO₂排出量が小さいため、この仮定による問題は小さくなる。

(4) 2050年CO₂排出量推計

対象市区町村の人口は出生率、生存率、純移動率が現状通り推移すると仮定して、5 歳別将来人口をコーホート法により推計する。可住地面積については、人口増加の場合は人口に比例して増加させ、人口が減少した場合は変化しないものとする。また、道路整備延長は可住地面積に比例させることとする。以上の計算による CO₂排

表-5 走行距離モデル(式(5))のパラメータ推計結果

変数名	パラメータ	t値	自由度調整済み R ² 値
定数項	10.6	33.0	0.622
可住地人口密度 [人/km ²]	-0.198	-6.03	
駅数総面積 [駅/km ²]	0.0687	2.33	

表-6 EST1 シナリオにおける各車両の普及率と走行起源 CO₂排出原単位の設定(2050 年)

車両	車種/区間	燃料消費削減率 (2000 年比)	走行起源 CO ₂ 排出原単位 [g-CO ₂ /台 km]	普及率
自家用車	Hybrid 車	33.2%	114	60%
	電気自動車	70.6%	55.5	40%
バス	Hybrid 車	14.3%	647	100%
鉄道	電化区間	10%	-	-
	非電化区間	30%	-	-

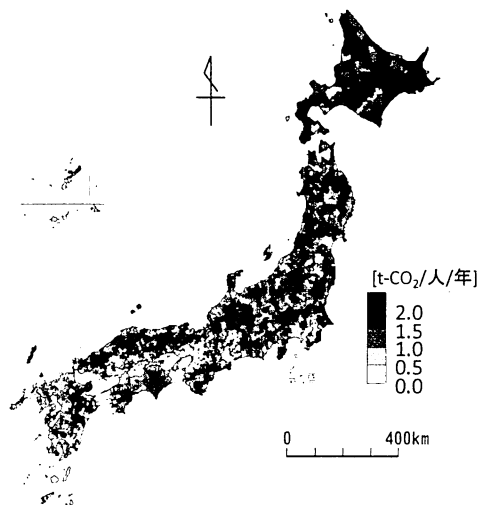


図-3 車両技術現状維持シナリオによる 2050 年 CO₂排出量

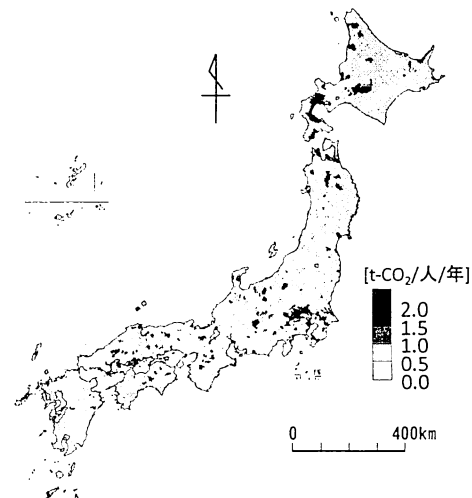


図-4 車両技術向上シナリオ(EST1)による 2050 年 CO₂排出量

出量の推計結果を図3・図4に示す。

燃料の車両技術現状維持シナリオでは、人口減少(21.8%減)による自家用車交通量の減少(10.9%減)によりCO₂排出量は2000年と比較して全国では9%の減少となるが、人口1人あたり排出量で比較した場合は16%の増加となっている。一方、車両技術向上シナリオ(EST1)によるCO₂排出量は2000年と比較して全国では65%の減少、人口1人あたり排出量でも56%の減少となり、燃料の車両技術固定シナリオの場合に比べて大きな削減率となっている。しかし、全国で80%の減少には至らず、交通施策(EST2)が必要となる。65%削減から80%削減にまで削減量を増やすことは、排出量を(100-80)/(100-65)=0.57倍にすることであり、厳しい目標であると言える。また、非都市においても2050年のCO₂排出量は2000年比28.2%であり、目標値の20%には届いていない。本研究で対象とする交通施策である幹線輸送機関の導入はこの地域では困難と考えられるため、目標達成にさらに必要となるCO₂削減量は全国の地域交通圏(中心都市+周辺都市)に割り振ることとする。

4. 導入する幹線輸送機関の選定と導入規模の推計

(1) 幹線輸送機関の選定手法

幹線輸送機関の導入によるCO₂削減効果を考える際、自家用車走行の削減とともに幹線輸送機関の運行によるCO₂発生量増加分を加える必要がある。むろん、幹線輸送機関導入によって地域の交通体系が全体として変化することも考慮に入れる必要があるが、本研究では、それらの影響のメカニズムをモデル化するに至っていないため、それまでの自家用車利用者が単純に転換するという仮定をおく。よって、幹線輸送機関の輸送密度と路線延長を乗じた値は自家用車利用の削減量[人 km]に一致する。この関係は式(6)で表される。

$$\Delta L = D \cdot l \tag{6}$$

ここで、D：輸送密度[人/日]、l：路線延長[km]

幹線輸送機関の運行によるCO₂排出量を決定するために、車両の運行量を輸送密度から計算する必要がある。一方、輸送機関を新設する際には、インフラ建設や車両製造といったCO₂排出活動が新たに発生することから、これに供用段階での運行・維持管理等に伴うCO₂排出量を加えた合計値(これを各輸送機関のSystem Life Cycle CO₂<SyLC-CO₂>と呼ぶ)を算出し、これを自家用車走行起源CO₂の削減量から控除して考える必要がある。特に、中量輸送機関のように輸送密度が低い場合、走行段階のCO₂排出量に比べて建設段階のCO₂排出量が相対的に大きくなる可能性がある。

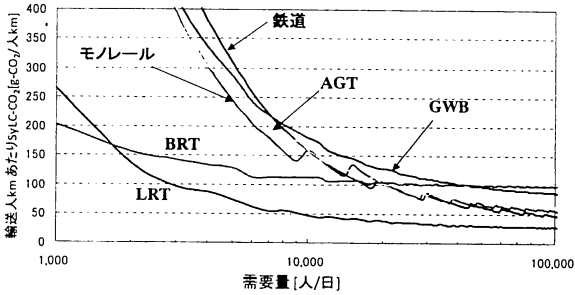


図-5 需要量変化に伴う SyLC-CO₂⁹⁾

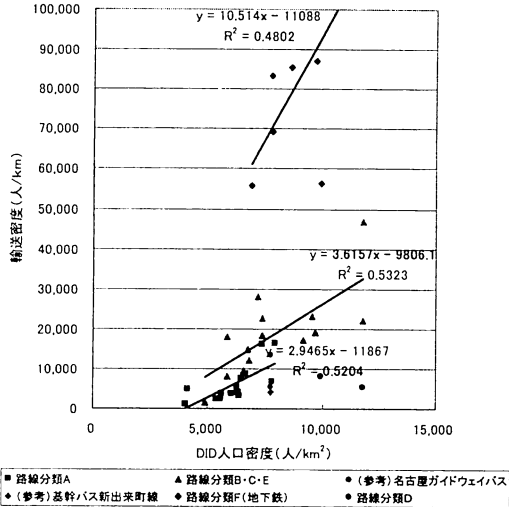


図-6 輸送密度と DID 人口密度との関係⁹⁾

著者らは先行研究⁹⁾において、各輸送機関(LRT、BRT、AGT、GWB、モノレールおよび鉄道)のインフラ建設、車両製造、および供用段階からのCO₂排出量の合計値(SyLC-CO₂)を算出し、輸送人kmあたりSyLC-CO₂と需要量の関係を示している(図-5)。需要量の増加によって輸送人kmに割り当てられる運行以外のCO₂が小さくなるため、輸送人kmあたりSyLC-CO₂は減少していく。需要量2,000[人/日]までは最もインフラ建設分が小さいBRTが、それ以上ではインフラ建設・車両走行の環境負荷が小さいLRTが、それぞれSyLC-CO₂最小の輸送機関となっている。ただし、LRTの最大対応輸送量は54,000[人/日]であるため、それ以上では鉄道がSyLC-CO₂の小さい輸送機関となる。

一方、国内の地下鉄・路面電車・AGT・モノレール等の輸送密度、表定速度などの実績値と地域特性との関係を分析した結果、対象とする地域の中心都市におけるDID人口密度と強い相関が得られる⁹⁾。この関係を用いて、各路線を機能および表定速度によって分類し、各分類における輸送密度とDID人口密度との関係式を提案している(図-6)。

本研究ではこれらの関係を組み合わせ、新規導入する幹線輸送機関の輸送密度をDID人口密度から算出す

る。回帰式の適用にあたっては、B(都市内周遊型：路面電車)、C(都市内周遊型：AGT・モノレール)、E(大都市交通補完型：AGT・モノレール)による回帰式を用いる。

以上の関係を各地域交通圏の中心都市に適用し、SyLC-CO₂ 最小でかつ導入可能な輸送機関を選定する。このとき、各輸送機関の技術革新を考慮するために、車両走行による CO₂ 排出量を、表-6 の EST1 施策実施による CO₂ 排出量に置き換える。

各地域交通圏で選定された輸送機関の結果を図-7 に示す。LRT と BRT のいずれかが選定されているのは、これらがインフラを多く必要としないためである。BRT 以外の輸送機関ではインフラの建設に伴う CO₂ 排出量が存在し、その単位路線延長あたり原単位は LRT が最も小さい。また、LRT が大都市周辺部で選択されているのは、これらの地域における旅客交通需要が大きく、走行段階での CO₂ 削減量が BRT よりも小さいためと考えられる。また、図-7 において白色で示される地域は非都市である。本研究で、この地域では EST1 のみを考慮したが、それだけでは削減目標は達成できなかった。この地域のみで削減目標の達成を図る場合、別の EST2 施策を導入するか他地域に比べて更なる車両・燃料技術の向上が必要である。

(2) 幹線輸送機関の必要量の決定

自家用車利用者が幹線輸送機関に転換することによって削減される CO₂ 排出量 ΔE [CO₂/年] は、1 人あたり CO₂ 削減量と転換量 $\Delta L (=D \cdot l)$ [人 km/日] の積となり、式(7) で表される。

$$\Delta E = (E_{car} - E_{train}) \cdot D \cdot l \quad (7)$$

ここで、 E ：輸送人 km あたり CO₂ 排出量(train の場合は SyLC-CO₂)

また、幹線輸送機関の走行起源 CO₂ 排出量 E_{train} は式(8) によって表される。

$$E_{train} = \frac{n \cdot f \cdot e_{train}}{D} \quad (8)$$

ここで、 n ：運行本数[本/日]、 f ：車両数[両/編成]、 e_{train} ：走行 CO₂ 原単位[CO₂/車両走行 km]

式(7)、式(8)を l について解くことによって、削減目標を達成するために必要となる新設路線延長 l が算出できる(式(9))。

$$l = \frac{\Delta E}{(D \cdot E_{car} - n \cdot f \cdot e_{train})} \quad (9)$$

図-8 に、各地域交通圏における導入輸送機関の必要路線延長の推計結果を、可住地面積あたりで示す。路線整備量は大都市圏で長くなる傾向にあり、これらの地域で重点的に幹線輸送機関を整備する必要性が示唆される。

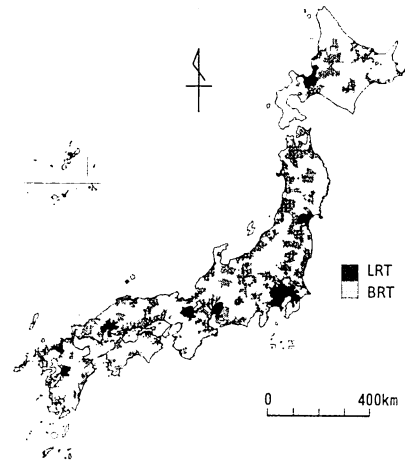


図-7 各地域交通圏における LC-CO₂ 最小となる幹線輸送機関(2050 年)

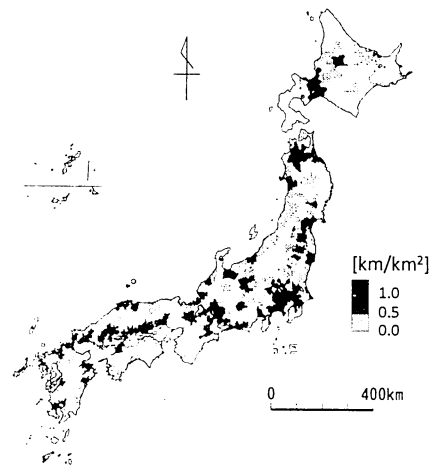


図-8 各地域交通圏における輸送機関導入延長(可住地面積あたり)

5. 結論

本研究では、日本の 2050 年における旅客交通部門 CO₂ 排出量の 2000 年比 80%削減を目標に据え、その達成のために、地域別に必要となる幹線輸送機関の種類と新規導入量を決定する手法を構築し算出を行った。その結果得られた主な成果を以下に示す。

- 1) 車両技術向上施策(EST1)による CO₂ 排出量削減効果のみでは全国で目標達成に至らず、交通施策(EST2)が必要であることが示された。
- 2) EST2 として幹線部において LC-CO₂ を削減する輸送機関を導入することを検討したところ、各地域交通圏で導入が必要となる輸送機関には、大都市周辺では LRT が、それ以外の地域では BRT が選定された。また、その路線は大都市周辺部ほど稠密に整備する必要があることが示された。
- 3) 非都市では幹線輸送機関の新設は行わず、EST1 のみ

による CO₂削減を考慮したが、この地域内での削減目標の達成に至らなかった。

謝辞：本研究は、環境省・地球環境研究総合推進費(S-3-5)「技術革新と需要変化を見据えた交通部門の CO₂削減中長期戦略に関する研究」の支援により実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) IPCC：第4次評価報告書第2作業部会報告書，2007.
- 2) OECD：Guideline towards Environmentally Sustainable Transport, 2001.
- 3) 中村英樹，林良嗣，都築啓輔，加藤博和，丸田浩史：目標設定型アプローチによる運輸起源の CO₂排出削減施策の提示，土木計画学研究・論文集，Vol.15, pp.739-746, 1998.
- 4) 金本良嗣，徳岡一幸：日本の都市圏設定基準，応用地域学研究 No.7，pp.1-15, 2002.
- 5) 松橋啓介，工藤祐揮，上岡直見，森口祐一：市区町村の運輸部門 CO₂排出量の推計手法に関する比較研究，環境システム研究論文集，Vol.32, pp.235-242, 2004.
- 6) 環境省：地球温暖化対策の推進に関する法律施行令で定める排出係数一覧，温室効果ガス排出量の算定に用いる排出係数について，<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santei_keisuu/keisuu.pdf>, 2006.(参照 2009/04/12)
- 7) エネルギー総合工学研究所：超長期エネルギー技術ロードマップ報告書，エネルギー総合工学研究所：研究成果，<<http://www.iae.or.jp/research/result/cho06.html>> (参照 2009/04/12)
- 8) 長田基広，渡辺由紀子，柴原尚希，加藤博和：LCA を適用した中量旅客輸送機関の環境負荷評価，土木計画学研究・論文集，Vol.23 no.2, pp.355-363, 2006.
- 9) 郷智哉，加藤博和，谷田一：脱温暖化社会を目指した地域類型別交通施策パッケージ提案手法，土木計画学研究・講演集，CD-ROM, Vol.36, 2007.