

低炭素化政策が都市間旅客交通ネットワークの構造に与える影響

HUSEYIN Tirtom¹・金 進英²・奥村 誠³・山口 裕通⁴

^{1,4}学生会員 東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 通研2号館148室)

¹E-mail:tirtom@cneas.tohoku.ac.jp

⁴E-mail:h-ymgc@cneas.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学助教 災害科学国際研究所 (〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 通研2号館149室)

²E-mail:kim@irides.tohoku.ac.jp

³正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1 通研2号館152室)

³E-mail:mokmr@m.tohoku.ac.jp

OECDによる環境的に持続可能な交通 (EST) の概念に見られるように、交通システムを考える上で低炭素化や環境負荷の軽減が重要な課題となっている。都市間旅客交通において低炭素化を図ろうとすれば、航空や高速バス等を抑えて鉄道への転換を図ることが課題となる。しかし鉄道はインフラの維持に大きな固定費用がかかり、多くの旅客を集める必要があるため導入できる路線が限定され、利用者に迂回を強いる結果所要時間の増加につながる可能性がある。つまり、低炭素化とネットワークの利便性の間にはトレードオフの関係がある。本論文は、トルコを例として、このような都市間交通のマルチモーダルなネットワークを計画する際に、低炭素化の制約の強さがもたらす影響を、数理計画モデルを用いて検討する。

Key Words : *intercity transportation, multi-modal, network design, low carbon*

1. 低炭素な都市間ネットワーク計画

(1) 都市間交通の環境負荷軽減

OECDによる環境的に持続可能な交通 (EST) の概念に見られるように、交通システムを考える上で低炭素化や環境負荷の軽減が重要な課題となっている。近年では都市間交通においても、短距離の航空フィーダー路線を高速鉄道で代替させるアイデアがEUで提案されるなど²⁾、低炭素化や環境負荷の軽減が求められてきている。省エネ性能やCO₂の排出原単位の違いが大きいことを考えれば、都市間交通における対策は、いかに航空や高速バスから鉄道に置き換えるかということになる。

(2) 鉄道のサービス特性

シェアを転換させるためには鉄道システムへの投資により高速鉄道化を促進する必要があるが、新線建設にしても従来の路線の改良にしても、連続的な空間を整備するために時間がかかるうえ、固定的な費用が大きくなる。したがって長期的に安定して鉄道の需要が見込める区間にしか投資ができないため、慎重に需要の伸びを待って後追的に整備を始めることになりやすく、先行的、戦

略的な高速鉄道の整備が難しいという問題があった。

鉄道の整備を可能にするためには、複数のODペアの旅客をまとめることによって固定的な施設整備費用部分をまかなう必要があり、より多くの鉄道路線を整備・維持するために結果的に利用者に迂回を強いることになり、所要時間が増大して利便性が低下してしまう恐れがある。つまり、CO₂削減と利便性の間にはトレードオフの関係が存在すると考えられる。

(3) 本研究の目的

本研究は、筆者らが開発した都市間のマルチモーダルネットワーク計画モデルを用いて、CO₂削減のレベルの違いによる都市間交通ネットワーク形状の変化を求め、CO₂削減量と利便性の間のトレードオフの構造を考察することを目的とする。

上記のモデルに総CO₂排出量に関する制約条件を導入した上で、その総排出量のレベルを変化させながら、利用者の総所要時間の金銭換算値と運営者の総運行コストの和である社会的費用を最小にするネットワークの形状を計算する。分析の対象はトルコ国内の11都市間の旅客

交通ネットワークであり、航空、鉄道（高速・在来）、高速バスのサービスを取り上げる。

2. マルチモーダルネットワーク計画モデル

(1) 計画モデルの基本構成

筆者らは、複数のOD間の旅客数を所与とした上で、これらの旅客を複数のモードからなるネットワーク上に配分して、利用者全体の総乗車時間と総乗継コストを小さくするような各リンクの航空便・列車の頻度を定める問題を考え、それを混合整数計画問題として定式化した。このとき、実行可能性を保証するため、各リンクにおいては通過旅客数を上回る容量を提供する頻度を設定すると同時に、その頻度を維持するコストを上回る収入が得られるようにそのリンクの旅客数を確保するという制約を置いている。

なお、ここでは形成されるネットワークと頻度の空間構成に関心があるため、個々の利用者の経路選択行動や個々の事業者の採算性は考慮しない。もちろんこのモデルにより得られた利用者の経路配分を実現するためには、経路別に運賃の差を付けて旅客を誘導することが必要であるが、事業者間の金銭のやり取りがキャンセルアウトするように運賃を設定する問題は、別途線形計画問題として定式化でき、解の存在が保証できる。

本研究ではこのモデルに総CO₂排出量に関する制約条件を導入する。以下では重複を恐れず、本研究で用いるモデルの定式化を説明する。

(2) 変数およびパラメータ

都市ごとにノード $n \in N$ を置き、それらをつなぐ方向別のアークをモード別 ($m \in M$) に定義する $(i, j) \times m \in A$ 。またモード間の乗り継ぎを明示的に表現するため、各都市ノード n をモード別の着ノード $n_- \times m$ とモード別の発ノード $n_+ \times m$ に区分し、その間に乗り継ぎアーク $(m, m') \times n$ を設定する。一方起終点ゾーン $(k, l) \in K \times K$ 間のOD交通量 T_{kl} を所与とする。

内生変数は旅客の流動を表す4つの変数と、列車・便の設定の有無および頻度を表す2つの変数である。まず、通常のモード別アークに流れる交通量を、起点ごとに定義して X_{ij}^{km} で表す。ノードにおける乗り継ぎ交通量も起点別に定義して $Y_n^{kmm'}$ で表す。このほか、出発地における新規の乗車数をモード別に B_k^m と表し、目的地における各出発地からの到着者数をモード別に A_n^{km} と表示する。一方、列車・便については、アーク、モードごとに、設定の有無を表す0-1変数を Z_{ij}^m で表し、頻度を

F_{ij}^m で表す。

外生的に与えるパラメータは以下のとおりである。通常のアークにおけるモードごとの所要時間を t_{ij}^m 、各ノードの一人当たりの乗継所要時間を $\tau_n^{mm'}$ とする。なお同一モード内での乗継は、そのノードを乗車したまま通過する場合と区別できないことに注意する。モード別の1便当たりの最大容量を h^m 、最大設定可能頻度を g^m とする。列車や航空便の運航に伴う1頻度あたりのCO₂の排出量を c_{ij}^m とする。さらに、各アークのサービスを維持するためのコストを、固定費用部分と頻度に比例する変動費用部分に分け、それぞれを d_{ij}^m および e_{ij}^m とおく。またアークの運賃を f_{ij}^m とおく。

また全ての旅客の時間価値を一定値 v とおく。

(3) 社会的費用の最小化

本モデルでは最小化すべき目的関数として、旅客の総一般化費用と事業者の総利潤の和である社会的費用をとりあげる。ここで運賃はアークごとに所与とするが、運賃は利用者から運営者への移転に過ぎず、社会的にみればキャンセルするため、求めるべき社会的費用は、利用者の総旅行時間の金銭換算値と総運営費用の総和として与えられる。すなわち目的関数は、先に定義したパラメータを用いて次のような内生変数の線形式で与えられる。

$$\begin{aligned} SC = & \left(\sum_i \sum_j \sum_m t_{ij}^m \sum_k X_{ij}^{km} \right) v \\ & + \left(\sum_n \sum_m \sum_{m'} \tau_n^{mm'} \sum_k Y_n^{kmm'} \right) v \\ & + \left(\sum_i \sum_j \sum_m d_{ij}^m Z_{ij}^m + e_{ij}^m F_{ij}^m \right) \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)の右辺の各項は順に、乗車中の総所要時間の金銭換算値、乗り換え時間の金銭換算値、総運営費用を表している。

なお、交通事業者が競争的で参入と退出が自由な場合、利潤はゼロとなり各アークの運賃は、そのリンクで必要とされる費用を利用者数で分割した額に設定されるという状況を考えれば、この社会的費用は利用者の一般化費用に一致する。

(4) 交通量に関する制約条件

まず、交通量の保存条件を記述する。

着ノード n における到着交通量について、以下の2式が成立する。

$$\sum_{i \in N^-(n)} X_{in}^{km} = A_n^{km} + \sum_{m' \in M} Y_n^{kmm'}, \quad \forall n \in N, \forall k \in K, \forall m \in M \quad (2)$$

$$\sum_m A_n^{km} = T_{kn}, \quad \forall n \in N, \forall k \in K \quad (3)$$

式(2)は、着ノードに到着した旅客が、そのノードを最

終目的地にする旅客とそのノードで乗り継ぎを行う旅客に分かれることを示している。式(3)は各モードで最終目的地に到着した出発地別の交通量の和が、OD交通量に等しいことを表わしている。同様に発ノード n から出発する旅客について、次の2式が成立する。

$$B_n^m + \sum_{m' \in M} Y_n^{km'm} = \sum_{j \in N^+(n)} X_{nj}^{km}, \quad \forall n \in N, \forall k \in K, \forall m \in M \quad (4)$$

$$\sum_{l \in K} T_{nl} = \sum_{m \in M} B_n^m, \quad \forall n \in N \quad (5)$$

式(4)は、ある発ゾーンを出発地としてモード m に乗車する旅客と、そのゾーンでモード m に乗り換えた旅客が、その発ゾーンからの旅客数に等しいことを表わしている。式(5)は、そのゾーンを出発地とするOD交通量の和は、いずれかのモードを用いて出発することを保障している。

次に便数設定に関する制約条件を記述する。あるアークにモード m のサービスを設定すると決めた場合のみ、具体的に頻度を設定することができる。

$$F_{ij}^m \leq g^m Z_{ij}^m, \quad \forall (i, j) \times m \in A \quad (6)$$

旅客を乗せずに便を動かす「回送」は、CO₂排出を生み出すため合理的ではない。回送を行わない場合には、頻度について次の連続条件が成立する。

$$\sum_{i \in N^-(n)} F_{in}^m = \sum_{j \in N^+(n)} F_{nj}^m, \quad \forall n \in N, \forall m \in M \quad (7)$$

最後にアークごとの各モードについて、頻度と旅客数との関係を記述する。まず旅客数は頻度から計算される容量の範囲内におさまる必要がある。すなわち、

$$\sum_k X_{ij}^{km} \leq h^m F_{ij}^m, \quad \forall (i, j) \times m \in A \quad (8)$$

さらに、アークの旅客数から得られる収入額が、頻度を維持するための運営費用を上回るという条件は、以下のように表現できる。

$$f_{ij}^m \sum_k X_{ij}^{km} \geq d_{ij}^m Z_{ij}^m + e_{ij}^m F_{ij}^m, \quad \forall (i, j) \times m \in A \quad (9)$$

(5) 総CO₂排出量に関する制約条件

列車や飛行便の運行頻度に対応してCO₂が排出されるので、総排出量を TC 以下に抑えるという条件は、以下のような線形式で表現できる。

$$\sum_i \sum_j \sum_m c_{ij}^m F_{ij}^m \leq TC \quad (10)$$

(6) 定式化のまとめと解法

最後に、変数の定義域として、

$$X_{ij}^{km} \geq 0, Y_n^{km'm'} \geq 0, B_n^m \geq 0, A_n^{km} \geq 0 \quad (11)$$

および、

$$Z_{ij}^m = \{0,1\}, F_{ij}^m \geq 0 \quad (12)$$

が加わる。頻度 F_{ij}^m は整数値に限定してもよいが、ここでは週のなかで異なる便数の日があることも認め、平均頻度を表す実数と考える。さらに利用者の利便性の立場から、設定頻度に最小限度 g_m がある場合には、次の式(13)を加えればよい。

$$F_{ij}^m \geq g_m Z_{ij}^m, \quad \forall (i, j) \times m \in A \quad (13)$$

以上、式(1)を目的関数とし、式(2)～(13)を制約条件とする問題は、少数の0-1変数 (Z_{ij}^m) を含む混合線形計画問題となる。したがって多くの数学ソフトウェアに実装されている混合整数計画法のプログラムのパッケージを利用して容易に解くことができる。

3. トルコを対象とするケーススタディー

(1) トルコの都市間ネットワークデータ

本研究ではトルコ国内の11の主要都市を結ぶFigure 1のような都市間交通ネットワークを対象に検討を行う。取り上げる交通モードは、航空、鉄道（高速・在来）、高速バスである。このうち高速鉄道は、現在1区間で営業中、2区間で建設中であるが、整備計画が存在する5つの区間は整備が完了したものとして扱う。各区間の所要時間、運賃、最大頻度および建設費用はTable 1の通りである。

トルコ国内最大の都市は人口1380万人のIstanbulであるが、国土の北西端に位置し、現状では首都である第二の都市Ankara (人口490万人)との高速鉄道が未完成であるため、各都市との間に航空便が設定されている。このことがCO₂排出量を大きくする原因となっている。

モデル中のパラメータ値としてモード間の乗継所要時間 $\tau_n^{mm'}$ は各ノードに共通してTable 2の値を与える。各モードの単位距離当たりのCO₂排出量をTable 3のように設定し、区間距離と乗じた値をパラメータ c_{ij}^m として用いる。その他のアークに関する運賃、固定費用、変動費用のパラメータ値は現状に合わせて設定するが、紙面の都合上省略する。

トルコ国内では残念ながら、幹線旅客純流動調査のような調査は行われておらず、OD交通需要の実態はわからない。ここでは距離だけを抵抗要因とする重力モデルを作成し、人口データに基づいてTable 4のような仮想的なOD交通量を与えることとした。

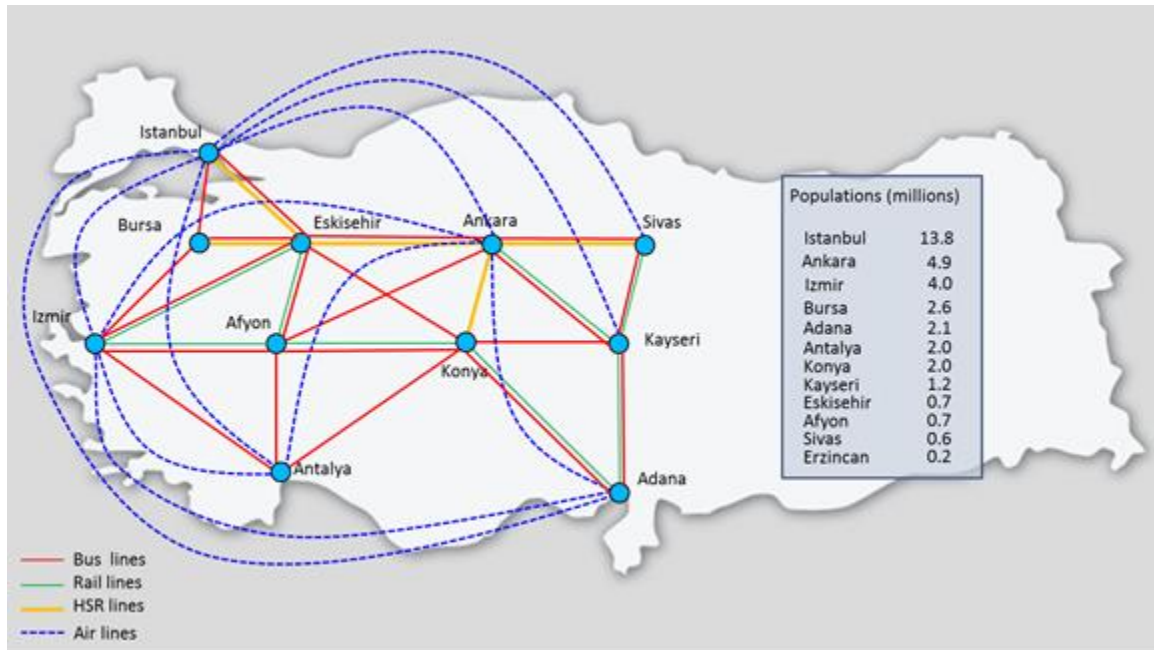


Figure 1 Turkish Intercity Network

Table 1 Line Parameters

Lines	Travel Time		Fare		Frequency		Cons. Cost
	Old	New	Old	New	Old	New	Billion \$
Istanbul-Eskisehir (a1)	209	91	20	55	10	100	2.121
Bursa-Eskisehir (a2)	-	60	-	40	-	100	1.456
Eskisehir-Ankara (a3)	170	69	16	40	10	100	1.610
Ankara-Konya (a4)	-	64	-	40	-	100	1.484
Ankara-Sivas (a5)	-	118	-	70	-	100	2.751

Table 2 Transfer Times

Modes	Transfer times (min)
Rail to Rail	10
Rail to Air	60
Rail to Bus	20
Air to Air	40
Air to Bus	60
Bus to Bus	10

Table 3 Mode attributes

Modes	Vehicle Capacities (passengers/freq.)	CO ₂ Emissions (grCO ₂ /pass-km)	Unit Costs (\$/freq.-km)
Rail	400	5	0.047
HSR	400	3.9	0.075
Air	165	34	0.105
Bus	54	9	0.068

Table 4 OD Data (daily average)

O/D	Istanbul	Bursa	Izmir	Eskisehir	Afyon	Antalya	Ankara	Konya	Sivas	Kayseri	Adana	Total
Istanbul	0	16560	11415	7425	3480	4035	21705	4770	810	2175	2475	74850
Bursa	16560	0	7755	7095	1860	1395	6765	1755	180	525	600	44490
Izmir	11415	7755	0	1380	2010	3135	4380	2055	180	495	780	33585
Eskisehir	7425	7095	1380	0	1935	645	5355	1080	75	240	255	25485
Afyon	3480	1860	2010	1935	0	1305	3930	2175	60	225	7710	24690
Antalya	4035	1395	3135	645	1305	0	2550	3030	135	465	1050	17745
Ankara	21705	6765	4380	5355	3930	2550	0	9885	1185	4590	3255	63600
Konya	4770	1755	2055	1080	2175	3030	9885	0	345	1815	2580	29490
Sivas	810	180	180	75	60	135	1185	345	0	1590	390	4950
Kayseri	2175	525	495	240	225	465	4590	1815	1590	0	1815	13935
Adana	2475	600	780	255	7710	1050	3255	2580	390	1815	0	20910
Total	74850	44490	33585	25485	24690	17745	63600	29490	4950	13935	20910	353730

(2) CO₂排出量に制約を与えないケース (Base Case)

まず基本ケースとして、総CO₂排出量に関する式(10)の制約条件を取り除いて、前章のモデルを用いて社会的費用の最小化を行う。

モデルの解は Figure 2 のようになり、Figure 1 の区間ごとの設定可能なモードと比較すると、すべての設定可能な航空アークと高速鉄道アーク、在来鉄道のアークではサービスが提供され、正の便数が設定されている。航空または鉄道のサービスが設定されたのと同じ区間には(1つの例外を除いて)バス路線は設定されない。バスのみが直行サービスを設定できる区間では1箇所の除き直行バス路線が設定される。Table 5の1行目に示すように、この解における社会的費用は1日当たり1497万ドルで、4つのモードの分担率を乗車区間の旅客キロに基づいて計算すると、は高速鉄道33%、在来鉄道25%、高速バス17%、航空25%である。CO₂総排出量は1,782,505 kgであり、以下ではこの値を基準に式(10)右辺の総排出量制約値を設定していく。

(3) CO₂排出量制約を厳しく設定したケース

次いで、式(10)右辺の総排出量制約値(TC)を10%ずつ減らしながら、前章の計画モデルを適用して、それぞれの制約条件下で最も社会的費用が小さくなるネットワーク構造を求める。その結果はFigure3-7およびTable 5に示している。

まず、CO₂の排出量に10%減(0.9*1,782,505 kg)の制約がある場合(Figure 3)を制約がない場合(Figure 2)と比べてみると、鉄道の路線が存在しないIzmir-AntalyaとIstanbul-Antalya間を除いて、すべての航空路線の頻度が減少していることが分かる。また、Istanbul-Sivas間では、航空路線がなくなり、高速鉄道の運行頻度数が上がっている。

Figure 4のようにCO₂排出量の20%減(0.8*1,782,505 kg)の制約がある場合は、Istanbul-Ankara間の航空路線の頻度が少なくなり、Izmir-Eskisehir間の在来鉄道路線がなくなった。さらに、Afyon-Ankara間の高速バス路線の頻度は著しく多くなっている。これは、Izmir-Ankara間の旅客の容量がEskisehir-Ankara間の高速鉄道の容量を超えたためであると考えられる。

CO₂排出量を30%減(0.7*1,782,505 kg)に制約すると、ネットワークの形状は大きく変わる。Figure 5によると、二つの航空路線(Izmir-AdanaとAnkara-Adana間)がなくなり、Izmir-Eskisehir間は高速バスの代わりに在来鉄道路線が運行される。これは、CO₂排出量の制限が影響しているためである。

Figure 6は、CO₂排出量の40%減(0.6*1,782,505 kg)制約の計算結果である。ここでは、Istanbul-Izmir間を除いたすべての航空路線がなくなった。航空の代わりに在来鉄道と高速バスの分担率が高くなっていることがTable 5からもみられる。

最後に、CO₂排出量を50%減(0.5*1,782,505 kg)制約した場合は、Figure 7のように、全航空路線がネットワークからなくなる。また、Afyon-AnkaraとKonya-Kayseri間の高速バスの路線もなくなり、在来鉄道路線の分担率が64%(Table 5)で著しく大きくなっていることが分かる。

(4) CO₂排出量制約と社会的費用とのトレードオフ

Table 5の中から、社会的費用を構成する利用者の時間費用および総運営費用、総社会的費用を取り上げ、総CO₂排出量との関係をFigure 8に図示している。この図の横軸はCO₂排出量であり、(右から)CO₂排出量に制約を与えないBase Caseと10%ずつ減らしながらCO₂排出量制約を設定した5ケース(総6ケース)になっている。縦軸は費用(\$)である。

CO₂排出量50%減のケースを除くと、CO₂の排出量が多くなればなるほど運営費用も増えることが分かる。これは、運営費用の安い鉄道が高い航空よりCO₂の排出量が少ないからである。一方、Figure 8の運営費用と社会的費用の差分は利用者費用である旅行時間を示しており、

CO₂の排出量とは反比例していることがみられる。旅行時間は利用者の利便性を表す指標であることから、CO₂削減と利便性の間にはトレードオフが生じることが確認できた。

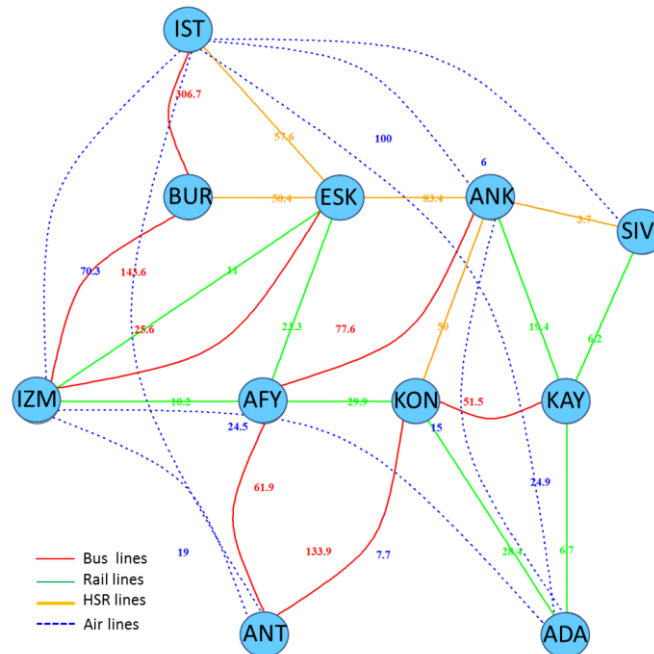


Figure 2 Optimal network without TC limitation (Base case) TC=1,782,505 kg

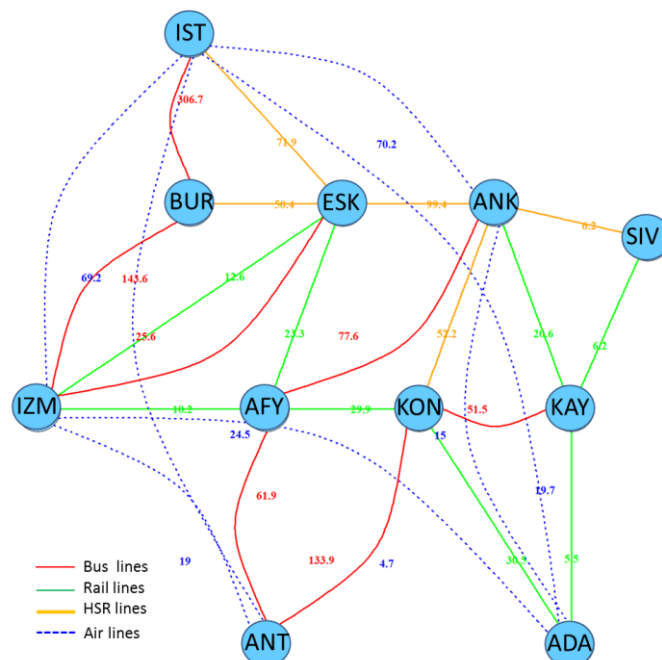


Figure 3 Optimal network with TC=0.9*1,782,505 kg

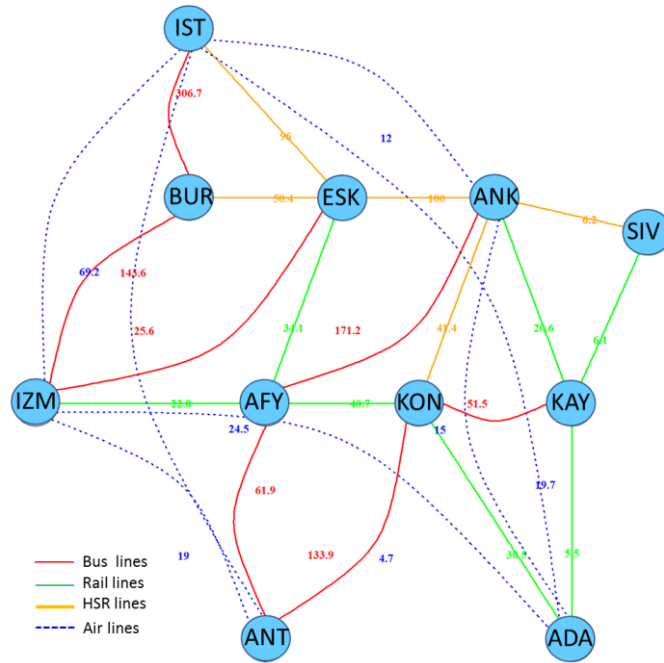


Figure 4 Optimal network with $TC=0.8 \times 1,782,505$ kg

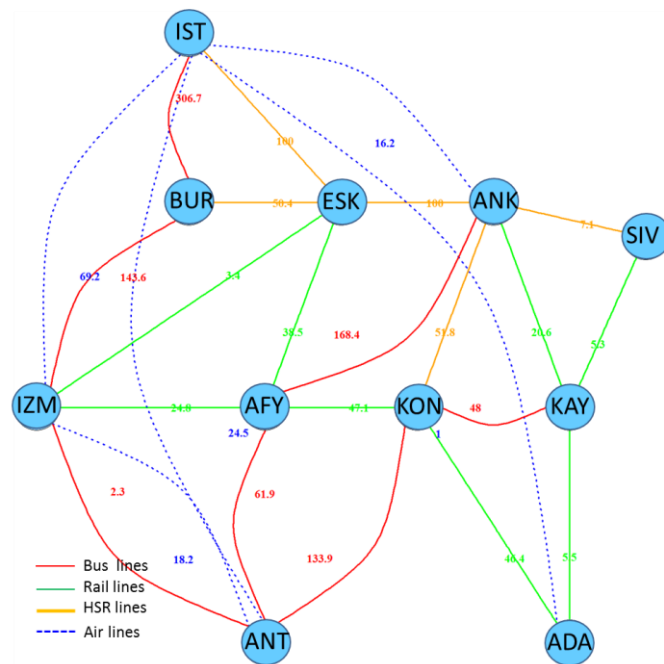


Figure 5 Optimal network with $TC=0.7 \times 1,782,505$ kg

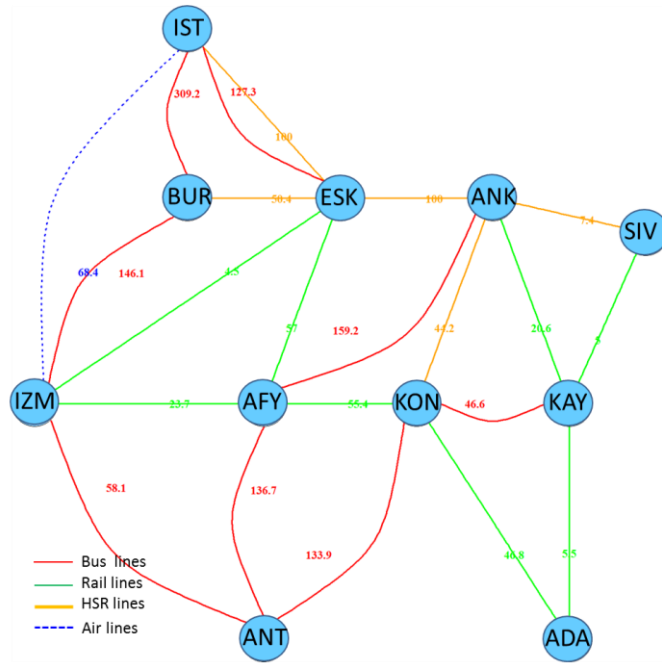


Figure 6 Optimal network with TC=0.6*1,782,505 kg

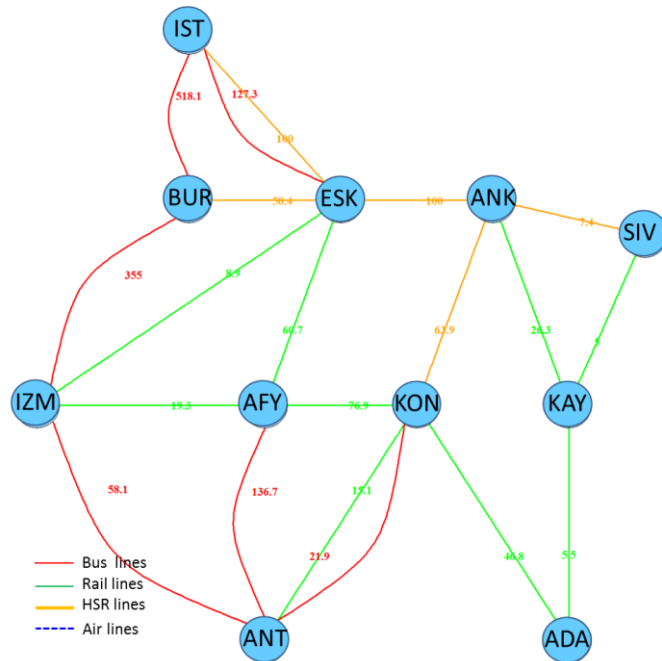


Figure 7 Optimal network with TC=0.5*1,782,505 kg

Table 5 Results and Modal Shares

TCO2	Travel Time (hours/day)	Op.Cost (\$/day)	Soc.Cost (\$/day)	CO2 (kg/day)	% HSR	% Rail	% Bus	% Air
Base case	1,145,747	8,827,139	14,975,675	1,782,505	33	25	17	25
0.9*Base case	1,179,896	8,805,415	15,137,209	1,604,255	38	25	17	20
0.8*Base case	1,243,582	8,711,559	15,385,118	1,426,004	40	26	19	15
0.7*Base case	1,329,167	8,600,364	15,733,207	1,247,754	41	31	17	10
0.6*Base case	1,491,490	8,514,827	16,518,760	1,069,503	39	33	23	5
0.5*Base case	3,627,175	13,254,581	32,719,453	891,253	23	64	14	0

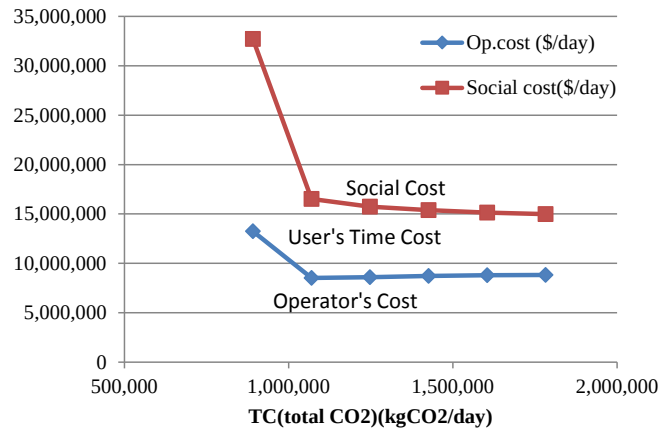


Figure 8 Trade-off between TC and cost

4. おわりに

本研究では、筆者らが提案した都市間のマルチモーダルネットワーク計画モデルを用いて、CO₂削減のレベルの違いによる都市間交通ネットワーク形状の変化について考察を行った。トルコ国内の11都市間の旅客交通ネットワークを対象にして航空、在来鉄道、高速鉄道、高速バスの4つの交通モードによる交通ネットワーク構造の変化や分担率の違いをみることで、交通モードからのCO₂排出量と運営費用の比例関係を明かすことができた。

また、CO₂排出量と利用者の総旅行時間と社会的費用を分析することで、CO₂削減量と利用者の利便性の間にトレードオフが生じることが明らかになった。

今後は例題を用いたケーススタディーを通じて、本モデルの有用性を確認していく必要がある。発表会時にはケーススタディーの結果についても報告する予定である。

謝辞：本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤(B) 25289157)の成果である。

参考文献

- 1) Andersen, J. Crainic, T.G. and Christiansen M.: Service network design with asset management: Formulations and comparative analyses. *Transportation Research Part C*, Vol. 17, No. 2, pp. 197–207, 2009.
- 2) Crainic T.G.: Service network design in freight transportation. *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, No. 2, pp. 272–288, 2000.
- 3) Givoni, M. and Banister, D.: Airline and railway integration, *Transport Policy*, Vol.13, pp.386-397, 2006.
- 4) Gonzalez-Savignat, M. : Competition in air transport – the case of the high speed train-, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.38, pp.77-108, 2004.
- 5) Horn, M. T.: Multi-modal and demand-responsive passenger transport systems: a modeling framework with embedded control systems, *Transportation Research Part-A*, Vol.36, pp.167-188, 2002.
- 6) 片山直登：アセットバランスを考慮したサービスネットワーク設計問題, 流通経済大学流通情報学部紀要, Vol.17, No.1, p29-50, 2012.
- 7) Okumura M. and Tsukai M: Air-Rail Inter-modal Network Design under Hub Capacity Constraint, *Journal of the Eastern Asia Society of Transport Studies* Vol.7(CD-ROM), 2007.
- 8) Qiang Meng, Xinchang Wang: Intermodal hub-and-spoke network design Incorporating multiple stakeholders and multi-type containers, *Transportation Research Part B*, Vol.45, pp. 724-742, 2011.
- 9) Spiess H. and Florian M.: Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks, *Transportation Research Part B*, Vol.23, pp.83-102, 1989.

(2013.8.2 受付)

LOW CARBON POLICY AND OPTIMAL STRUCTURE OF MODAL-MIX NETWORK FOR INTERCITY PASSENGER TRANSPORTATION

Tirtom HUSEYIN, Jinyoung KIM, Makoto OKUMURA,
and Hiromichi YAMAGUCHI

Environmentally sustainable transportation becomes an important issue as well for intercity passenger transportation, where modal shifting from energy consuming airline and bus service, to energy efficient high speed railway is most feasible measure. Strategic redistribution of network-wide demand onto the improved rail links in order to collect enough income to support the railway service requiring large fixed cost. This paper presents an optimal modal-mix planning model in intercity passenger transportation, which aims to design a modal mix network minimizing the social cost, under the condition that total CO₂ emission does not exceed the given level. The proposed model is formulated as a mixed integer linear programming model, which can be numerically solved by general solver programs. The proposed model was applied to the intercity network of Turkey, and used to design the network structure corresponding the different levels of CO₂ emission. It is found that, tightening CO₂ threshold increased travel times and so social cost.