

電気自動車によるモーダルシフトの可能性に関する研究

豊橋技術科学大学 工学部建築・都市システム学課程

木根田 好[※]

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 准教授

渋澤 博幸

豊橋技術科学大学 建築・都市システム学系 教授

宮田 譲

1. はじめに

電気自動車は、走行時においてCO₂や排ガスを排出しないことから、政府・メーカーともに普及に向けた前向きな取り組みがすすめられている。電気自動車は、ガソリン車に比べると、航続可能距離が短く、充電時間に時間を要することから、一般的に、都市内の移動手段に適している。

このような電気自動車のもつ技術的な制約を解決するひとつの方法として、フェリーを利用した都市間の移動が考えられる。フェリーは、既存の都市間の交通手段として利用されているが、電気自動車の普及により、フェリーによる都市間移動がどのような影響を受けるのかを検討する。

本稿では、電気乗用車と電気トラックによる陸上輸送から海上輸送へのモーダルシフトの可能性と環境への影響について検討する。電気乗用車と電気トラックの場合を比較しながら、モーダルシフトと環境への影響を明らかにする。

2. 方法

電気自動車が、道路とフェリーのどちらの交通機関を利用するかという問題を考える。ここでは、電気自動車とは、電気乗用車及び電気貨物車を示すものとする。一般的に、旅客と貨物が利用する交通機関の割合は、各交通機関の所要時間と移動費用に依存する。犠牲量モデルを用いると、所要時間と移動費用の情報から、交通機関の分担率を求めることができる。東北産業活性化センター『青函カートレイン構想』では、旅客と貨物のフェリーと高速道路の分担率を推計している。分担率と時間価値の関係を図1に示す。

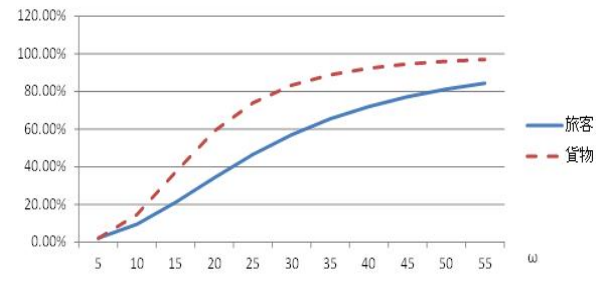


図1 分担率と時間価値

P はフェリーの分担率であり、 $P = \text{フェリー} / (\text{フェリー} + \text{道路})$ である。道路の分担率は $1 - P$ である。 ω は各区間の時間価値、すなわち1分当たりの時間価値(円)で、 $\omega = (\text{道路移動費用} - [\text{フェリー移動費用} - \text{フェリー休息時間価値}]) / (\text{フェリー移動所要時間} - \text{道路移動所与時間})$ である。フェリー休息時間価値とは、フェリー利用により減少した道路走行時間を休息の増加分としてその時間価値を求めたものである。瀬戸内海のフェリーの情報を用いて推計された式であるが、本調査では参考情報としてこの式を試験的に用いる。旅客は乗用車を、貨物はトラックを利用するものとする。

3. シナリオ

3. 1 経路と移動手段

A地域とB地域のある区間に、トラックで移動可能な2つの経路が存在する状況を想定する。「道路（一般道路と高速道路）」を利用する経路 α と、「道路（主に一般道路）とフェリー」を利用する経路 β である。その他の輸送モードを利用した移動は考えないものとする。2つの経路の概念図を図2示す。ここで、二つのケースを考える。

$$\text{旅客} \quad \ln[P/(1-P)] = -7.56566 + 2.30696 \ln \omega \quad (1)$$

$$\text{貨物} \quad \ln[P/(1-P)] = -8.81237 + 3.06129 \ln \omega \quad (2)$$

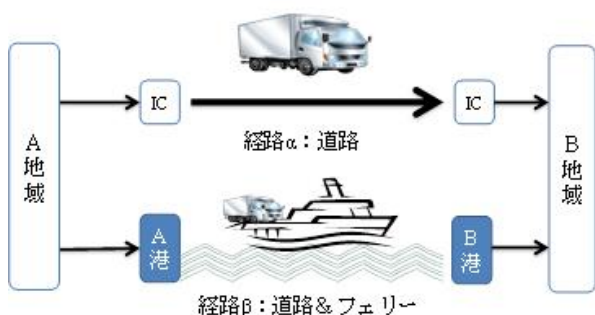
エンジン車ケース：通常のエンジン車（乗用車またはトラック）で移動する場合

電気自動車ケース：電気自動車（乗用車またはトラック）で移動する場合

エンジン車ケースにおける経路 α と経路 β の分担率と、電気自動車ケースにおける経路 α と経路 β の分担率を求める。電気自動車とエンジン車の経路 β の分担率の差を求め、この差が大きくなればモダルシフトが生じるとする。



(a) 乗用車



(b) トラック

図2 経路と交通機関

3. 2 フェリーの航路と発着地

図3に長距離フェリー航路を示す。フェリーは約1日1便である。図中の番号は各航路を示す。このうち、4, 5, 6, 8, 9の航路は複数の航路に分け、7番の航路は旅客サービスがないため考慮していない。各航路の港に対応する発着地点を表1のように定めた。

各発着地点間の経路 α と経路 β の情報は、検索サイトNAVITIMEを利用した。陸上移動では高速道路を利用し、移動時間を最小にする経路を優先的

に選択した。経路 α と経路 β の区間を、エンジン車（乗用車あるいはトラック）1台で移動した場合の移動費用と移動時間、及び電気自動車（乗用車あるいはトラック）1台で移動した場合の移動費用と移動時間を求めた。各経路の移動費用と移動時間から時間価値を求め、犠牲量モデルの(1)式と(2)式を用いて経路 β （フェリー）の分担率 P を求めた。北海道～青森間は、道路が存在しないためフェリーを利用するものとした。

表1 発着地と航路

区間	発着地（最寄港）	発着地（最寄港）
1	京都駅(舞鶴)	札幌駅(小樽)
2	新潟駅(新潟)	札幌駅(小樽)
3	福井駅(敦賀)	札幌駅(苫小牧東)
4a	福井駅(敦賀)	新潟駅(新潟)
4b	福井駅(敦賀)	秋田駅(秋田)
4c	新潟駅(新潟)	札幌駅(苫小牧東)
4d	新潟駅(新潟)	秋田駅(秋田)
4e	秋田駅(秋田)	札幌駅(苫小牧東)
5a	名古屋駅(名古屋)	札幌駅(札幌)
5b	名古屋駅(名古屋)	仙台駅(仙台)
5c	仙台駅(仙台)	札幌駅(苫小牧)
6	水戸駅(大洗)	札幌駅(苫小牧)
8a	東京駅(東京)	博多駅(新門司)
8b	東京駅(東京)	徳島駅(徳島)
8c	徳島駅(徳島)	博多駅(新門司)
9	大阪駅(大阪南)	博多駅(新門司)
10	大阪駅(泉大津)	博多駅(新門司)
11	神戸駅(神戸)	博多駅(新門司)
12	大阪駅(大阪南)	大分(別府観光)
13	神戸駅(神戸)	大分駅(大分)
14	大阪駅(大阪南)	鹿児島駅(志布志)
15	大阪駅(大阪南)	宮崎駅(宮崎)



出典：日本長距離フェリー協会ホームページ

図3 フェリー航路

3. 3 エンジン車（エンジン乗用車あるいはエンジントラック）

エンジン車（乗用車またはトラック）で経路 α を移動する場合の所要時間は、道路の移動時間にエンジンの給油時間を加えた時間とする。給油回数は移動距離を航続距離（乗用車 400km, トラック 500km）で除して求めた。移動費用は、有料道路の料金と道路走行費からなる。

エンジン車で経路 α を移動する場合の所要時間は、港までの道路移動時間とフェリーの乗船時間および平均待ち時間の合計とした。1日1便のフェリーについては平均待ち時間を12時間とした。移動費用は、フェリーの運賃（車両費含む）と道路走行費の合計である。フェリー移動の場合、フェリーの運賃から道路走行時間が減少した分の時間価値を差し引いている。

乗用車とトラックでは給油回数が異なるため所要時間に若干の相違が生じる。移動費用については、乗用車よりもトラックの方が、走行経費原単位と有料道路の料金とも高い。トラックについては中型トラック（車両総重量が5トン以上、又は最大積載量が3トン以上であって、車両総重量が11トン未満、かつ最大積載量が6.5トン未満のトラック）を対象とした。小型トラックの場合は移動費用が低下し、大型トラックの場合は移動費用が高くなる傾向があるが、今回の分析対象には含まなかった。

3. 4 電気自動車

電気自動車（乗用車またはトラック）で経路 α を移動する場合の所要時間は、道路の移動時間と総充電時間（充電回数×充電時間）の合計である。電気自動車の航続距離は130kmとした。移動費用は、有料道路の料金と道路走行費の合計である。

道路走行費は、走行経費原単位に走行距離を乗じて求められる。走行経費原単位は、燃料費、油脂費、整備費、車両焼却費を含む。一般的に、電気自動車の燃料費はエンジン車のそれよりも低い。車両費は電気自動車のほうがより高価である。

ここでは、基本ケースとして、電気自動車とエンジン車は同じ走行経費原単位を用いた。電気自動車が普及するためには、電気自動車の走行経費が少なくともエンジン車と同等かあるいはそれ以下ある必要があるからである。

表2に、エンジン車と電気自動車の分担率とCO₂の排出量の計算に用いた原単位の一覧を示す。

表2 推計に用いた原単位

	単位	エンジン 乗用車	電気 乗用車	エンジン トラック	電気 トラック
給油・充電時間	分/回	10	40	10	40
航続距離	km	400	130	500	130
ドライバーの時間価値	円/分	40.1	40.1	64.18	64.18
フェリーの平均待ち時間	時間	12	12	12	12
走行経費原単位(高速道路)	円/km	9.55	9.55	28.52	28.52
走行経費原単位(一般道路)	円/km	23.62	23.62	45.84	45.84
CO ₂ 排出係数	CO ₂ /t・km	165	66	520	208
犠牲量モデル定数項		-7.56566		-8.81237	
犠牲量モデル係数		2.30696		3.06129	

(注) 高速道路：高速・地域高規格・速度75km/h、一般道路：一般道市街地、時速30km/h

4. 分析結果

4. 1 経路 β の分担率の推計

(1) エンジン乗用車と電気乗用車の場合

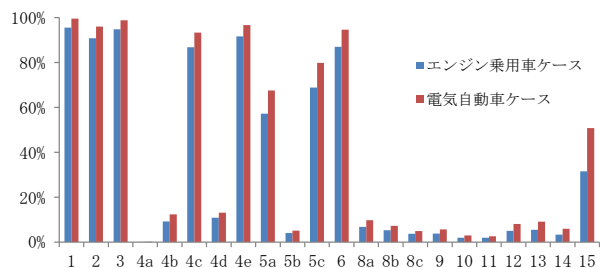
表1に示した発着地点とする各区分において、エンジン乗用車あるいは電気乗用車で、経路 α と経路 β を移動した場合の分担率を犠牲量モデルから求めた。これを基本ケースとする。

図4の横軸は各区分の番号である。縦軸は経路 β （フェリー&道路）の分担率を示す。一般的に、経路 α （道路）の移動距離が長い区分ほど、すなわち道路を利用すると長距離・長時間・高い費用の移動を余儀なくされる区分ほど、経路 β （フェリー&道路）を選択する割合が高くなっている。どの区分をみても、エンジン車よりも電気自動車のケースで、経路 β （フェリー&道路）の分担率が上昇している。これは、電気自動車が普及すると、経路 β （フェリー）を利用する可能性が高まることを示している。

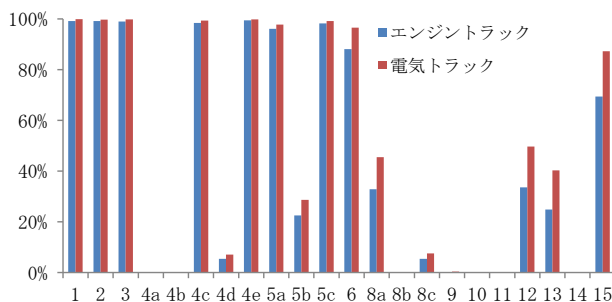
(2) エンジントラックと電気トラックの場合

同様に、エンジントラックと電気トラックの場合について、経路 β の分担率を求めた。図4-2-4(b)に示すように、17の航路については、フェリーを利用する経路の分担率が得られた。本州

の各駅と北海道を結ぶ経路についてはフェリーの利用率が高い。本州と北海道の間を、道路のみで移動する経路 α の場合、青森―北海道に道路が存在しないため、この区間だけはフェリーを利用して移動するようにしている。本州の各駅から青森まで高速道路を利用して、途中フェリーに乗るとコストが高くなるため、最初からフェリーを利用する割合が高まる傾向となった。その他の航路については、フェリーの中型トラック運賃が高速道路の料金よりも高いため、経路 α （高速道路）のみを選択する経路も存在している。



(a) 電気乗用車



(b) 電気トラック

図4 経路 β の分担率

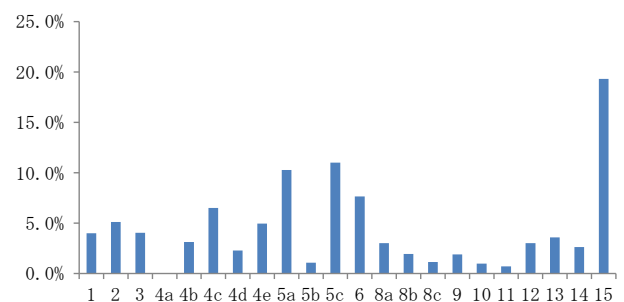
(3) モーダルシフト率

陸上移動から海上移動へのモーダルシフト率を次のように定義する。

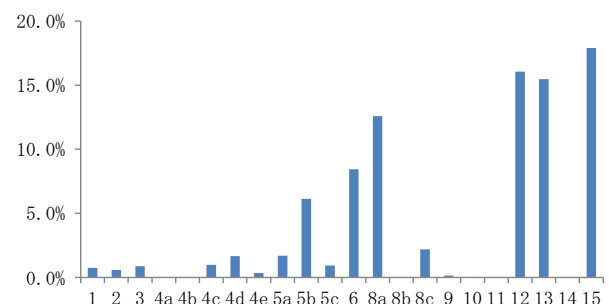
モーダルシフト率＝電気自動車の経路 β の分担率
－ エンジン車の経路 β の分担率

各区間のモーダルシフト率を図5(a)(b)に示す。電気乗用車の場合は、すべての航路でモーダルシフト率を求めることができた。モーダルシフトが生じた経路について、シフト率の平均値を求めた。電気乗用車によるモーダルシフト率の平均値は

4.5%となった。トラックに関しては5つの航路についてフェリーの利用はなかった。電気トラックによるモーダルシフト率については、17の航路で平均値は5.1%となった。図5から、トラックに比べて乗用車の場合に、すべての航路でバランスよくモーダルシフトが生じる傾向がみられる。感度分析を行うと、乗用車に比べてトラックの場合は、フェリーの料金に影響を受けやすい傾向がみられる。



(a) 電気自動車

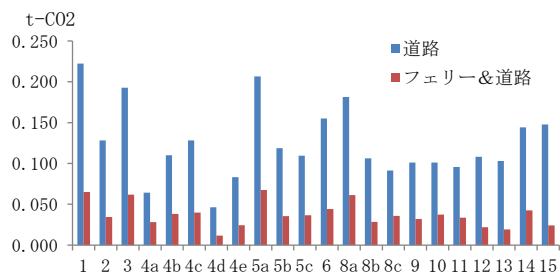


(b) 電気トラック

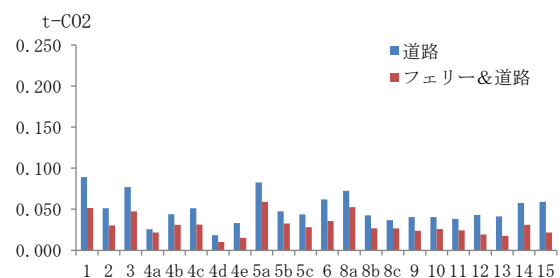
図5 経路 β へのモーダルシフト率

(4) CO2 排出量

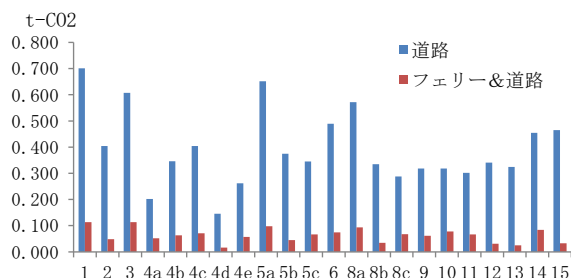
図6に、各区間を経路 α と経路 β で、エンジン車（乗用車、トラック）と電気自動車（乗用車、トラック）で移動した場合のCO2排出量を示す。1台1トリップあたりのCO2排出量である。エンジントラックで経路 α を移動する場合、CO2排出量が最も大きくなっている。エンジントラックあるいはエンジン乗用車で経路 β を移動するとCO2排出量は減少する。



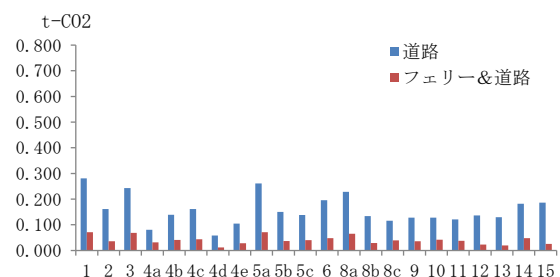
(1) エンジン乗用車



(2) 電気自動車



(3) エンジントラック



(4) 電気トラック

図6 CO₂排出量

電気トラックあるいは電気乗用車で経路αを移動すると、CO₂排出量は大幅に減少する。電気乗用車で経路βを移動すると、CO₂排出量が最も少なくなる傾向となった。すべての区間のCO₂排出量を集計した結果を表3に示す。

表3 全航路のCO₂排出量

	経路α	経路β
エンジン乗用車	3.567t-CO ₂	0.822t-CO ₂
電気乗用車	1.761t-CO ₂	0.664t-CO ₂
エンジントラック	8.650t-CO ₂	1.392t-CO ₂
電気トラック	3.460t-CO ₂	0.892t-CO ₂

乗用車の場合は、経路αによるエンジン乗用車の移動から、経路βによる電気乗用車への移動にモーダルシフトすることにより75.8%のCO₂削減となる。同様に、トラックの場合は、経路αによるエンジントラックの移動から、経路βによる電気トラックの移動にモーダルシフトすることにより83.9%のCO₂削減となる。

5. まとめ

本稿では、仮説的なシナリオと犠牲量モデルを用いて、電気自動車と電気トラック道路を利用したトリップから、長距離フェリーを利用したトリップへモーダルシフトする可能性について検討した。我が国の長距離フェリーの旅客と貨物トラックの移動に注目して、全ての航路について道路からフェリーへのモーダルシフト率を試算した。

電気乗用車がもたらす海上移動への平均的なシフト率は約4.5%となり、電気トラックがもたらす平均シフト率は約5.1%となった。電気乗用車よりも電気トラックの方が、陸上から海上輸送へのモーダルシフトをもたらす可能性が高いことが示された。

また、電気乗用車や電気トラックによるモーダルシフトは、CO₂排出の削減にも大きく貢献することが示された。今回の分析では、中型トラックを対象としたが、小型トラックのケースについても調査が必要と考えられる。三河湾の経済波及効果のモデルを利用して、モーダルシフトが港湾後背地の地域経済に与える影響を計測することも重要な課題とである。

引用文献

- [1]愛知県三河港務所, 平成 24 年三河港統計年報,
平成 25 年 9 月
- [2]一般社団法人日本長距離フェリー協会, ホーム
ページ, 長 距 離 フ ェ リ ー 2013 春 夏 号 ,
http://www.jlc-ferry.jp / 2012_spring.pdf, 2013 年 1
月 15 日
- [3]国土交通省貨物自動車運送事業における次世
代自動車の導入促進に関する研究会, 貨物自動車
運送事業における次世代自動車の導入促進に関す
るとりまとめ, 平成 23 年 7 月
- [4]豊橋技術科学大学未来ビークルシティリサー
チセンター, 平成 24 年度研究成果報告書, 2013
年 3 月
- [5]財団法人東北産業活性化センター, 青函カート
レイン構想, 平成 9 年