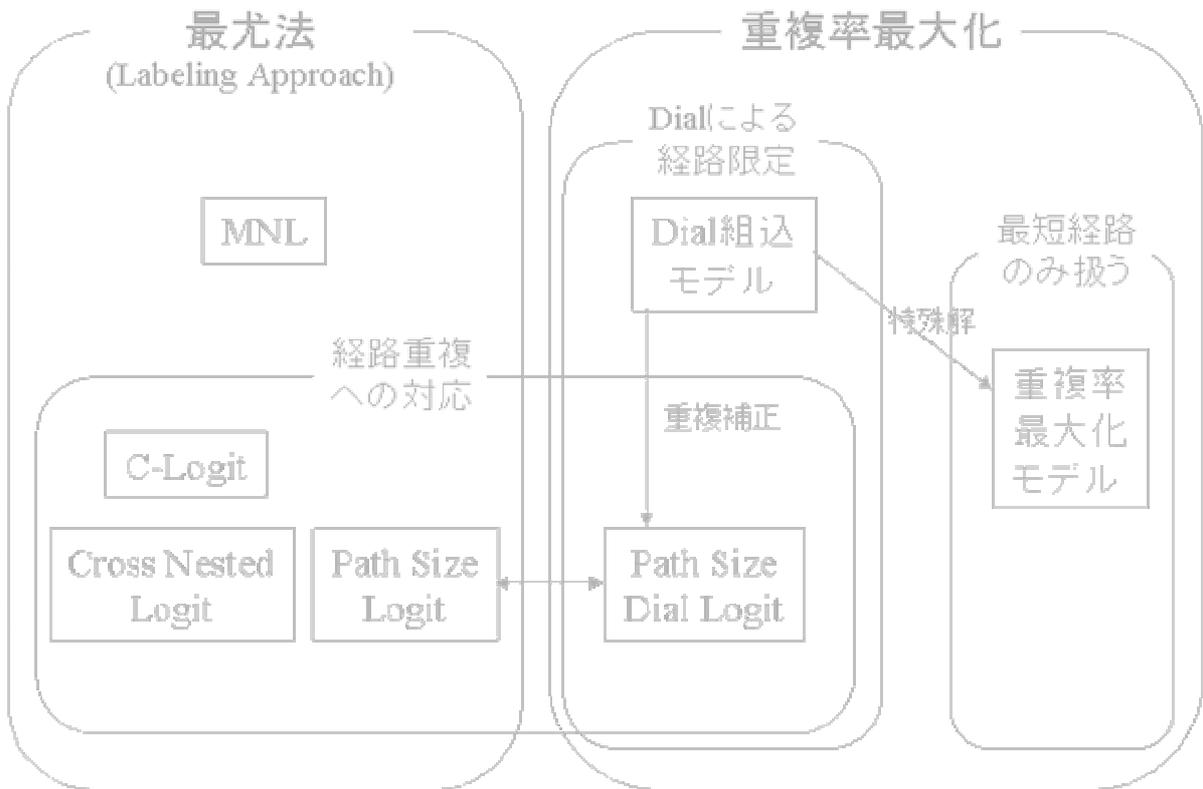


Technical Report

大型貨物車走行経路のモデル分析



平成 18 年 6 月 20 日

東京海洋大学 海洋工学部 流通情報工学科

兵藤 哲朗

1. はじめに

アジアの経済・産業基盤の充実に伴い、わが国では、工場の海外移転や、それに伴う Supply Chain Management の発達など、国際物流の目覚ましい発展が続いている。それに加えて、平成 5 年に設計自動車荷重が 20 トンから 25 トンに引き上げられたこともあり、国内の貨物が大型化する傾向にある。しかし橋梁やトンネルなど、重量や高さに制約のある箇所も多く、首都圏でも多くの”Missing Link”が存在することから、今後、重点的に大型貨物車の走行ルートに関わる容量増大が喫緊の課題となっている。

これらの背景のもと、本研究では大型貨物車の走行経路の特性に関する定量分析を行う。これは伝統的な「経路選択分析」の一つであるが、現況の道路ネットワークにおける大型車走行ボトルネック箇所を考慮すること、およびドライバーへの直接的な経路調査を用いることなど、新たな分析を試みる。

また、経路選択分析について内外の既存研究を網羅し、種々のモデルの比較検討を行い、それらを踏まえた上でオリジナルな方法論を提案する。

なお、本研究で用いたデータは平成 15～17 年度実施の第 4 回東京都市圏物資流動調査に基づいており、一部の成果はその最終成果として用いられている。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

トラックの大型化と国際物流の増大に伴い、わが国では大型の海上コンテナの流動実態を詳細に調べたり（柴崎(2005)など）、重さや高さ超過で走行不可能なボトルネック箇所を既存統計で丹念に調べ上げる試みが多くなされつつある。あるいは、コンテナを受け止める内陸施設の分布から、適切な経路設定を考察する研究も行われてきた。しかし、重さ・高さの走行制約がある大型トラックに対し、その走行経路を道路条件などを加味して推計する方法論は未だ十分検討されていないといえよう。

これは交通行動分析の枠組みでは「経路選択モデル」として扱われる分野であるが、選択肢集合の設定自由度が高い道路上の経路選択モデルは、まだ統一的な見解は定まっておらず、多くのモデルが林立している状態にあるといえる。本研究では、様々な経路分析方法論の中から、実経路を直接表現する「重複率最大化モデル」（鈴木ら(1998)、Hyodo et al.(2000)、笹井ら(2004)）を取り上げ、その適用性を吟味することとした（第 1 の目的）。重複率最大化モデルを選んだ理由としては、①モデルの適用が自転車経路データに止まっており、自動車交通への適用可能性が未確認であること、②モデルの推定アルゴリズムが簡単であり、実用性に富むこと、③他の経路選択モデルに比して選択肢集合を設定する必要がなく、選択肢集合形成に関わる解のブレがないこと があげられる。

また、重複率最大化モデルの実ネットワーク経路モデルとしての実用性を確認した後、他の方法論として、明示的に選択肢集合を扱う各種の方法、そして重複率最大化モデルに Dial アルゴリズムを組み込む方法などを付加的に検討し、各々の特性を明らかにする。それら多様な方法論間の理論的な差異や、結果の相違について実例を持って示すことも本研究の目的の一つでもある（第 2 の目的）。

3. 大型貨物車走行データおよびネットワークデータの概要

3.1 調査データの概略

本研究で用いる大型貨物車走行ルートデータは、平成 15 年度実施の東京都市圏物資流動調査（東京都市圏交通計画協議会実施）の付帯調査の一つである、大型貨物車走行ルート調査に基づく。本研究の分析対象として、同調査データより、特殊大型車両、海上コンテナ車、10 トン以上の貨物車を抜粋した。合計 598 サンプルのデータが得られた。また以降、便宜上、サンプルの車種を大別し、特殊大型車両及び海上コンテナ車を「特殊車」、10 トン以上の貨物車を「貨物車」として分類する。得られたサンプルの車種構成は以下の通り（図 3-1-1）。

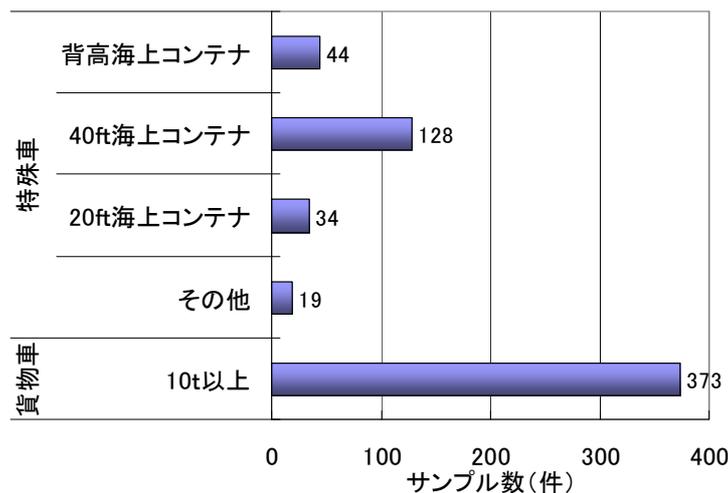


図 3-1-1 走行ルートサンプルの車種構成

次に、車種別の高速道路利用（トリップ中の高速道路利用の有無）を示す（図 3-1-2）。半数以上のサンプルが高速道路を利用していることがわかる。しかし車種別に見ると、特殊車では高速利用が半数以下であるのに対し、貨物車では約 60%のサンプルが高速利用である。

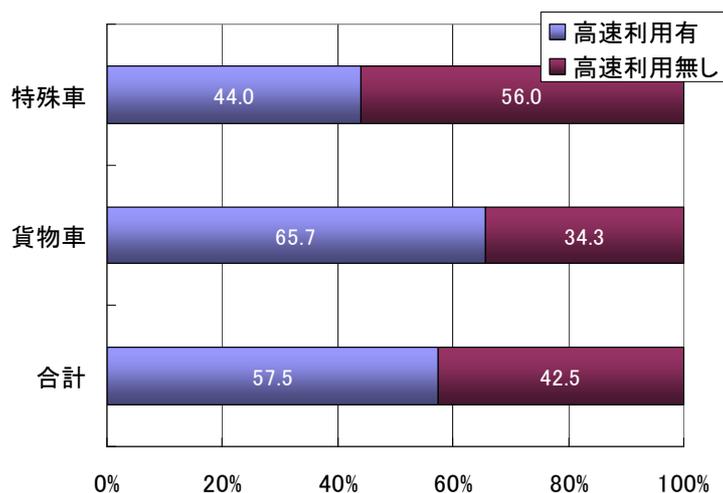
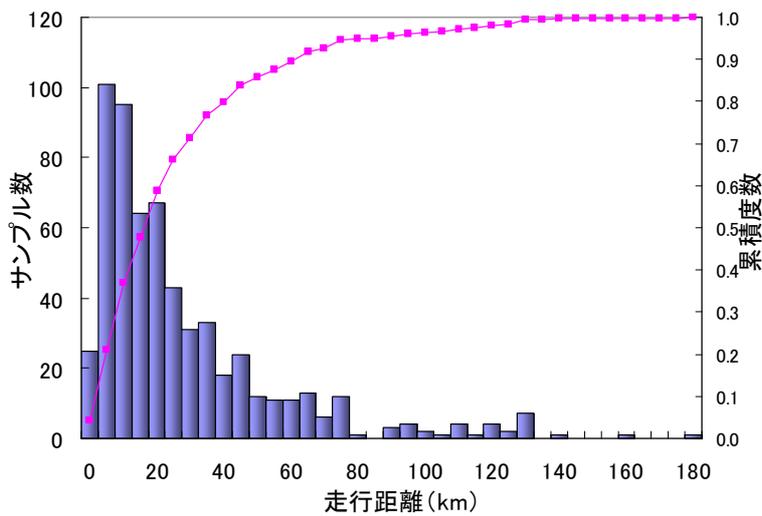


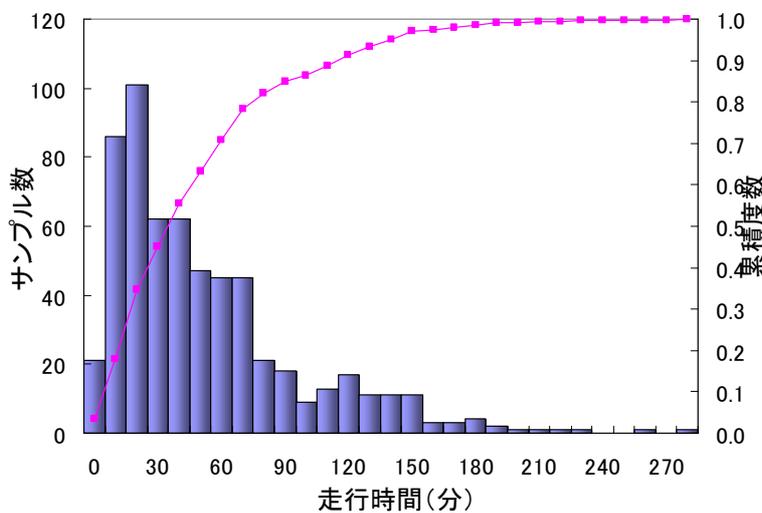
図 3-1-2 走行ルートサンプルデータ高速道路利用率

基本的な走行特性として、走行ルートデータサンプルの走行距離、走行時間の分布を示す。ただし、ここで用いる走行時間は、走行リンクの配分結果（H10 年東京 PT における配分計算結果）から得られた所要時間であり、サンプルの実所要時間ではない（図 3-1-3、 図 3-1-4）。



平均	30.11
最小値	2.72
最大値	183.75

図 3-1-3 サンプルデータ走行距離分布



平均	57.02
最小値	4.09
最大値	284.78

図 3-1-4 サンプルデータ走行時間分布

走行距離分布よりサンプルの走行距離の平均は 30.11[km]、走行時間の平均は 57.02[分]である。しかし、使用している道路ネットワークデータは東京都市圏内（東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県、茨城県）に範囲が限定されるので、その範囲外の走行データは省かれている。

本研究では道路ネットワークデータには、平成 10 年パーソントリップ調査時の配分結果を用いている。同ネットワークのノード数は 9231、リンク数は@@@@リンクである。

リンク属性は、リンク距離、料金（高速道路、有料道路）、道路種類（有料道路、無料道路、高速道路、一般道）、地域区分（市街地、国道 16 号線以内、環状 7 号線以内、港湾地区）、リンク規制速度、リンク旅行速度（平成 10 年パーソントリップ調査の配分計算結果より）、リンク車線数、車道幅員、各種指定道路（重さ指定道路、高さ指定道路）である（表 3-1-1）。

表 3-1-1 リンク属性一覧

リンク距離 (m)	料金コード①	料金コード②	料金コード③ (円)	道路種類	地域区分	環状7号線以内	国道6号線以内	港湾地区
調査済み (12535)	有料 (1032) 無料 (10534) 未調査 (969)	固定 (729) 対距離 (208) 対象外 (11598)	固定の場合 (12045) 対距離：距離 × 24.6 (円 / km) (490)	高速 (413) 一般 (11498) その他 (266) 未調査 (358)	市街地 (5588) その他 (5924) 未調査 (1023)	該当 (1689) その他 (10846)	該当 (5405) その他 (7130)	該当 (108) その他 (12427)

規制速度 (km/h)	配分速度 (km/h)	旅行時間 (分)	ピーク時旅行速度 (km/h)	車線数 (車線)	車道幅員 (m)	重さ 指定道路	高さ 指定道路
未調査 (1073) 30 (9) / 40 (6439) 50 (2646) / 60 (493) 70 (118) / 80 (91)	調査済み (12535)	配分速度より算出	未調査 (1667) 調査済み (10868)	未調査 (581) 1 (20) / 2 (7908) 3 (116) / 4 (3091) 5 (8) / 6 (811)	未調査 (2464) 該当 (10071)	該当 (5354) 非該当 (7181)	該当 (4105) 非該当 (8430)

道路ネットワークデータをもとに道路の視覚化を行った。以下に道路ネットワークを図示する。以下の図 3-1-5 では東京首都圏の道路ネットワークと高速道路ネットワークを表示もしている。

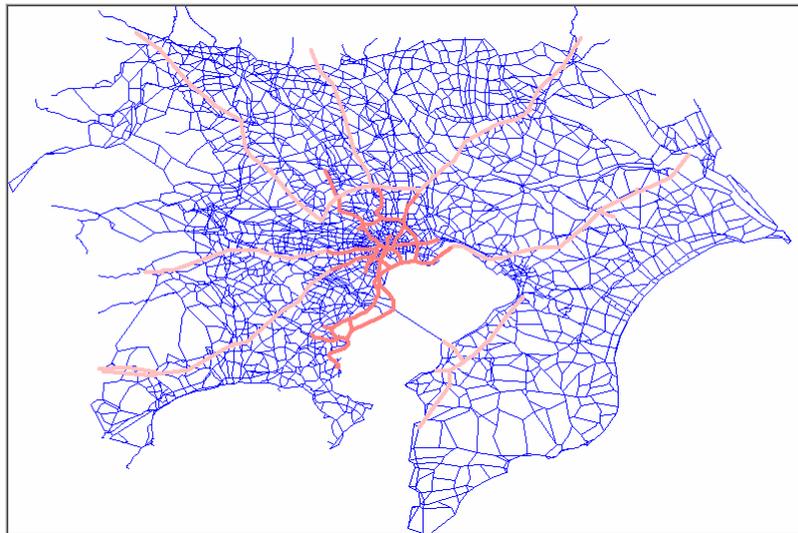


図 3-1-5 東京都市圏道路ネットワーク

以降、リンク属性（地域区分、走行速度、車線数、指定道路）がどのように道路ネットワーク上に分布しているのかを図示する。

1) 地域区分

リンク属性の地域区分の分布を以下に示す。市街地、国道 16 号線以内、環状 7 号線以内、港湾地区の 4 種類の地域に分類をしている（図 3-1-6）。

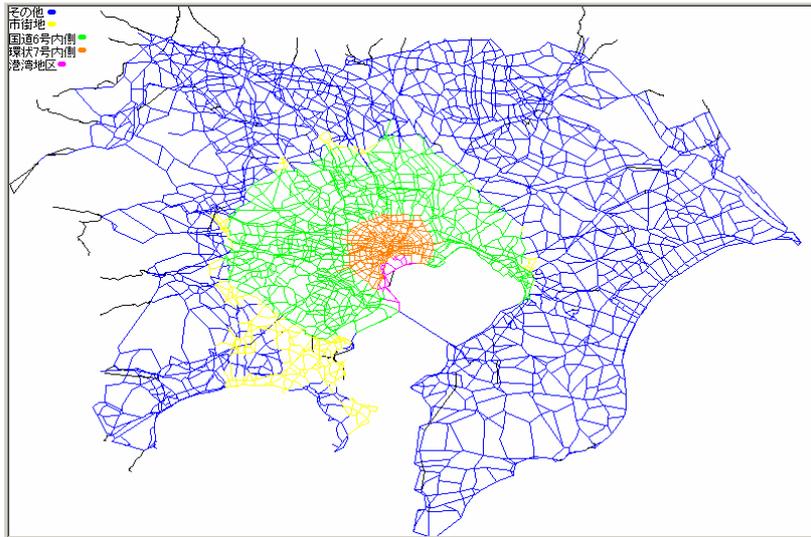


図 3-1-6 地域分類

2) 走行速度

東京都市圏中心部では平均走行速度が 20[km/h]以下が多く、中心部の渋滞発生が考えられる。また、放射状高速道路では 80[km/h]以上の走行速度であるのに対し、首都高速道路では走行速度が低くなっている（図 3-1-7）。

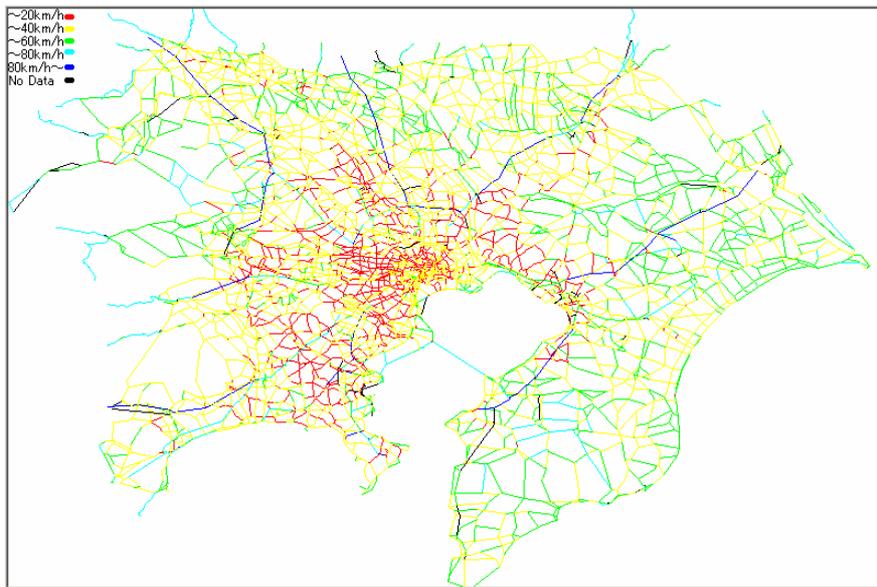


図 3-1-7 平均走行速度分布

3) 車線数

中心部、高速道路や主要道路（国道 16 号線、環状 7 号線等）において車線数が多いことが分かる。また、ここでの車線数とは上下線を合計した数値である（図 3-1-8）。

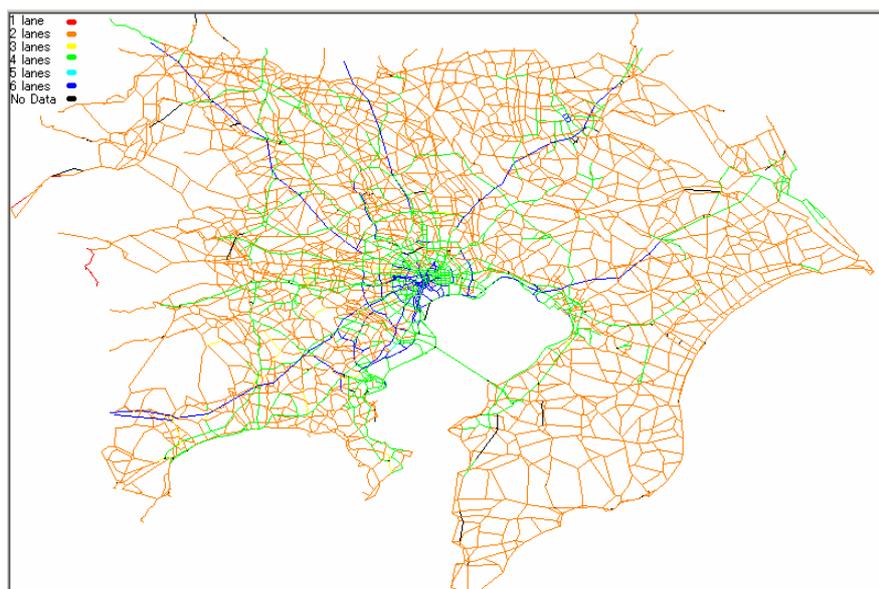


図 3-1-8 車線数分布

4)指定道路のネットワーク

重さ指定道路、高さ指定道路の道路ネットワークの分布を以下に示す。高さ指定道路に比べ、重さ指定道路ネットワークの方が広域であることが分かる（図 3-1-9）

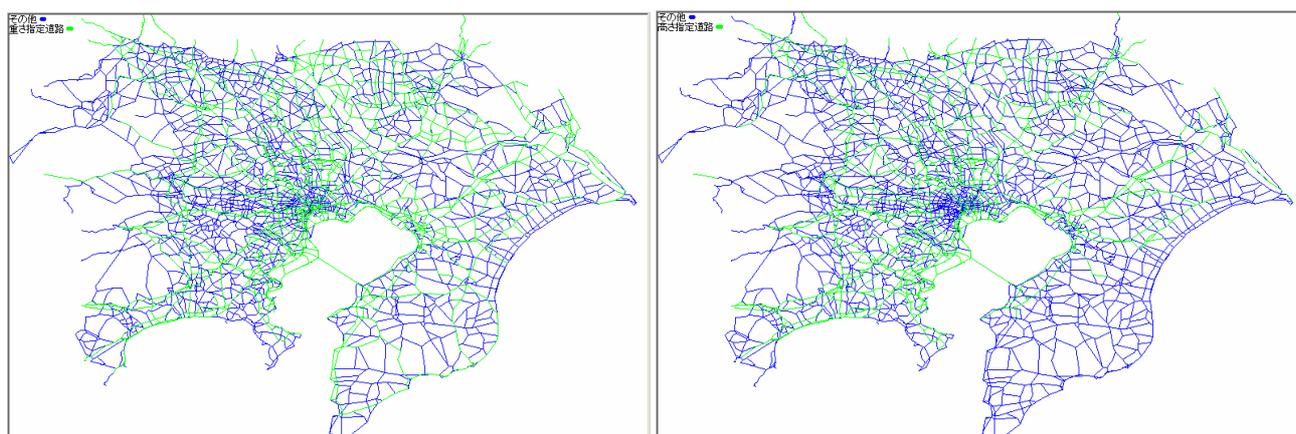


図 3-1-9 重さ指定道路（左）と高さ指定道路（右）ネットワーク

以上の大型貨物車走行ルートデータ、道路ネットワークデータを用い、大型貨物車の経路選択に影響を与える道路条件は何であるのかを明らかにしていく。

3.2 走行特性の把握

まず得られたサンプルデータと、道路ネットワークデータを用いて、迂回率の算出を行った。迂回率の算出では、走行距離と走行時間について算出を行っている。なお、走行距離・走行時間を算出する際に用いた値は、走行ルートデータと道路ネットワークデータのマッチングを行い、リンク属性（リンク距離、リンク平均旅行速度）より算出した計算値である。以下に全 598 サンプルにおける個々の迂回率、及び実走行距離を重みとしたサンプル全体の重み付き迂回率を示す（図 3-2-1、図 3-2-2）。

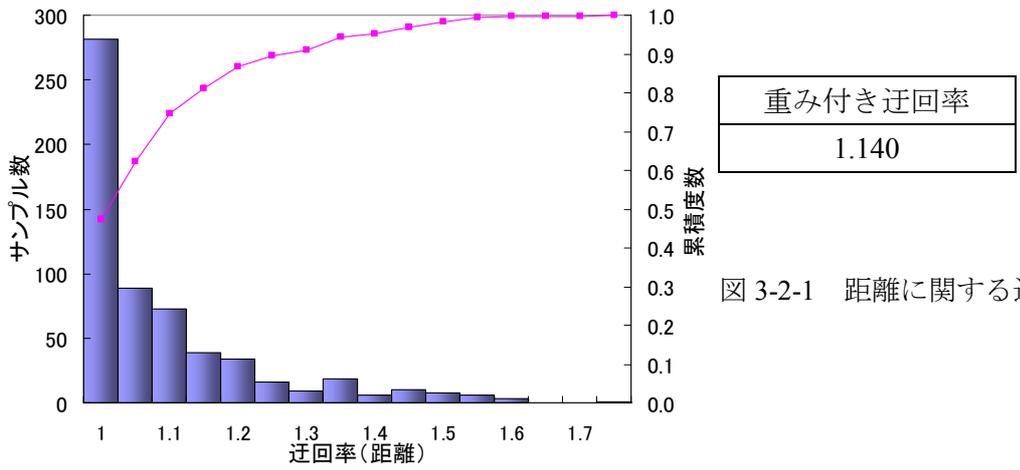


図 3-2-1 距離に関する迂回率

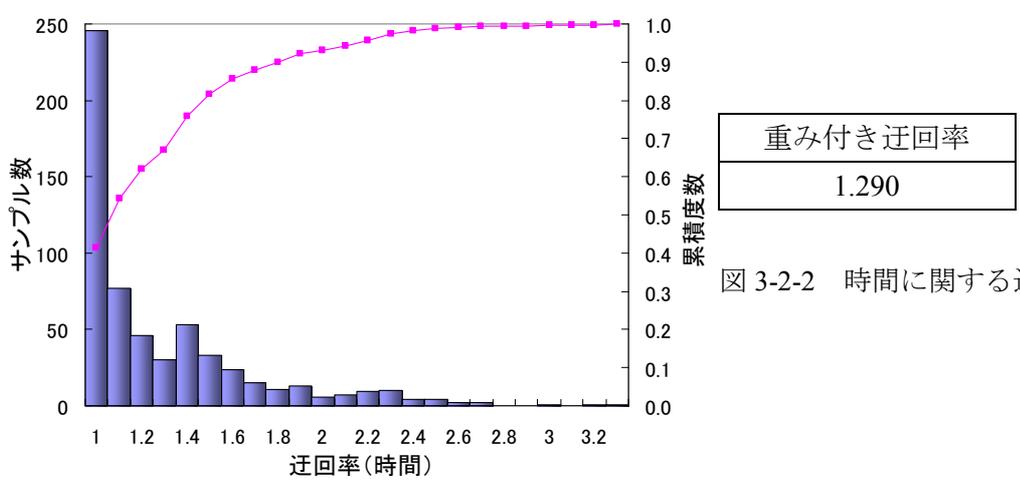


図 3-2-2 時間に関する迂回率

図 3-2-1 より、距離について迂回率 1.00～1.10 の範囲内に約 80%のサンプルが集中しており、全体として 14%ほどの迂回をしていることが分かる。時間に関しては、迂回率 1.00～1.50 の範囲内に約 80%のサンプルが集中し、全体として 29%ほどの迂回をしている。また、距離の迂回率に比べ時間の迂回率の分散が大きい、これは時間最短経路に高速道路の有無が大きく関わり、支払料金意思額のその決定に寄与することに一因があると考えられる。それがまさに、経路選択要因の一つであることから、時間や費用を考慮した経路選択モデルの必要性がここからも伺うことができる。

以下に、車種別、高速利用有無における迂回率をまとめる（表 3-2-1）。

表 3-2-1 迂回率算出結果

	全体	特殊車	貨物車	高速利用有	高速利用無
距離迂回率	1.140	1.100	1.157	1.163	1.097
時間迂回率	1.290	1.347	1.263	1.173	1.462

表 3-2-1 より、車種別では、特殊車における距離迂回率と時間迂回率の差が顕著に現れていることが分かる。

4. 重複率最大化モデルの検討

ここで取り上げる「重複率最大化」モデルとは、過去、鈴木・高橋・兵藤(1998)や Hyodo(2000)、笹井・兵藤・鈴木・高橋(2004)において自転車経路選択モデルの一つとして提案されてきたモデルを指す。同モデルは選択肢集合を扱わず、認知最短経路と実経路の重複 (overlapping) 率が最大となるように、リンク距離関数を操作する方法論である。本章では、モデルの基礎式を再掲し、大型車経路選択への適用を前提としたモデルの改良方法について説明する。

4.1 重複率最大化モデルの定式化

まず、変数の基礎的な定義も兼ねて、前節で紹介した迂回率の算出式を示す。 n 番目サンプルの実利用経路延長 X_n を次式とする。

$$X_n = \sum_a \delta_{na} \cdot l_a \quad (1)$$

ここで δ_a は n 番目サンプルが a 番目リンクを通過する際に 1、それ以外に 0 をとるダミー変数である。 l_a は a 番目リンクのリンク長である。このとき、 n 番目サンプルの迂回率は次式で表される。

$$DT_n = \frac{X_n}{\sum_a \delta_{na}^{**} \cdot l_a} \quad (2)$$

δ_{na}^{**} は n 番目サンプルの出発地と目的地の最短距離経路に a 番目リンクが含まれていれば 1、そうでなければ 0 をとるダミー変数である。迂回率は n 番目サンプルの実利用経路延長を計算機によって算出される n 番目サンプルの最短距離経路で除した値となる。

ここで、各サンプルの利用経路延長を重みとして、サンプル全体の重み付き迂回率を以下のように定義する。

$$DT = \frac{\sum_n X_n \times DT_n}{\sum_n X_n} \quad (3)$$

つぎに「認識距離」の概念を導入する。認知距離とは運転者が実際に感じているであろう距離のことである。運転者は必ずしも目的地までの最短経路を通行するとは限らず、車線数、車道の幅員、交通規制、高速道路、交通渋滞状況等の様々な要因の影響を受けて走行経路を選択していると考えられる。すなわち運転者は走行経路選択の際に、実距離ではなく、状況に応じて変化する認識距離が最小となる経路を選ぶと仮定する。以下に認識距離の定式化について記す。

リンクの属性により認識される経路長が異なるという仮説に基づき、 a 番目のリンクの認識距離を以下の式で表現する。

$$l_a^*(\beta) = l_a \cdot \prod_k \beta_k^{Z_{ak}} \quad (4)$$

ここで、 Z_{ak} は a 番目リンクにおける k 番目属性変数 (車線数、渋滞状況等) について条件を満たすときは 1、それ以外は 0 をとるダミー変数である。 β_k は k 番目属性にかかる未知パラメータである。この式は、リンク属性により認識されるリンク長が変化することを表す。例えば、過去の自転車経路選択モデルの例で言えば、広幅員道路や歩道を有するリンクの場合、 β 値は 0.8~0.9 程度の値が報告されていた。これは同条件を満たす場合、自転車利用者はそのリンク長を実際の 80~90% の距離と認知していることに相当する。また、全てのパラメータの値が 1 の場合は、認知距離は実距離に一致する。

4.2 大型貨物車経路選択モデルへの展開

既存の重複率最大化モデルは、自転車経路選択への適用に止まっていたため、リンク長や歩道有無、道路幅員など極めて限られたリンク情報しか利用できなかった。しかし今回の大型車の調査では、配分結果に基づく種々のリンクデータが利用可能である。さらに、3.2 で確認したように、迂回率も距離と時間とは大きく異なっており、道路料金や走行速度など、多様な変数が経路選択行動に影響を与えていることは自明である。そこで、本研究では式(4)で定義したリンク長 (l_a) を、一般化費用に置き換えることにより、従来型の経路選択モデルと同様、重複率最大化モデルを、多様な変数を取り込むことが可能な汎用性の高いモデル式に拡張することを試みる。

定式化は、リンク長の代わりに、一般化費用を用いることになるので、(4)式より、

$$GC_a^*(\beta) = (\text{Cost}_a + \omega \cdot \text{Time}_a) \cdot \prod_k \beta_k^{Z_{ak}} \quad (5)$$

を新たな認識距離、もしくは認識一般化費用式とする。ここで、 GC_a^* は a 番目リンクを走行する際にかかる一般化費用 (Generalized Cost) を表している。 Cost_a は a 番目リンクを走行する際にかかる費用 (有料道路利用料金と燃料費の合計) である。燃料費の算出は、 a 番目リンク延長に対距離あたりの燃費を掛け合わせたものを燃料費としている。一般化費用に乘じられる項は、既存例と同様で、 Z_{ak} は a 番目リンクにおける k 番目属性変数 (車線数、渋滞状況等) について条件を満たすときは 1、それ以外は 0 をとるダミー変数であり、 β_k は k 番目属性にかかる未知パラメータである。 ω は時間価値であるが、本モデルでは、未知パラメータであり、モデルの推定結果から直接その値を得ることができる。

なお、燃料費算出方法については次の数値を用いた。具体的な値として、燃費 : 0.259[L/km] (国土交通省、平成 15 年度分自動車輸送統計年報、「1km あたり燃料消費量」より)、燃料費 : 106[円/L] (2005 年 11 月現在、軽油価格より) として、これらをリンク距離に掛け合わせることで燃料費の算出を行っている。

重複率最大化モデルのパラメータ推定方法は、モデルの主旨から、実利用経路とモデルで再現される経路との重複率が最大になるようにパラメータを定めることになる。ここで、モデルで再現される経路とは、認識距離もしくは認識一般化費用が最小となる経路である。以下、推定式について述べる。

パラメータを推定する場合の目的関数は、上記の通り、実経路と最短認識距離 (もしくは一般化費用) 経路の、距離重み付き重複率である。そこで次式のような n 番目サンプルの重複率を定義する。

$$D_n(\omega, \beta) = \frac{\sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\omega, \beta) \cdot l_a}{X_n} \quad (6)$$

ここで X_n は実際の走行経路長である。 $\delta_{na}^*(\omega, \beta)$ はパラメータ値が ω, β のとき、 n 番目サンプルの認識最短経路に a 番目リンクが含まれる場合に 1、それ以外の場合は 0 をとるダミー変数である。ここで、式 (6) で示した重複率が大きい (1 に近づく) ほど、モデルにより再現される経路が実際の経路をよりの確に説明していることになる。そこで各サンプルの利用経路延長を重みとして、サンプル全体の重み付き重複率を次のように定義する。

$$D(\omega, \beta) = \frac{\sum_n X_n \cdot D_n(\omega, \beta)}{\sum_n X_n} = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\omega, \beta) \cdot l_a}{\sum_n X_n} \quad (7)$$

未知パラメータ (ω, β) は式 (7) を最大化するように求めればよい。しかし、一般的には最短経路などのネットワーク変数は離散的であるため、この重複率をパラメータで微分することは不可能であり、目的関数の勾配等を算出することはできない。そこで、パラメータの値を任意の区間で移動させ、それぞれのパラメータに対する重複率 ((7)式の値) を算出し、目的関数の等高線図を作成し、重複率が最大となるパラメータを視認することが考えられる。また、パラメータ数が多くなる (3 変数以上) では、目的関数の等高線図も描けないため、この場合は遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm) を用いた方法を適用する (Hyodo(2001))。

本方法では、モデルの説明力を確認するため、パラメータが無効な場合の「初期重複率」を定義することとした。これは重回帰分析では、被説明変数の分散、離散選択モデルでは初期尤度に相当する。初期重複率としては、①距離最短経路と実経路との重複率、②時間最短経路と実経路との重複率、③費用最小経路と実経路との重複率が考えられる。最も基本的な情報で構成されるのは、①距離最短経路との重複率であると想定されるため、以降、この値を初期重複率と見なす。なお、本サンプルにおける各々の重複率の値は以下の通り。

表 4-2-1 各種初期重複率の推計値

	重み付き重複率 ((7)式)
①距離最短経路	0.48151
②時間最短経路	0.49623
③費用最小経路	0.38662

4.3 パラメータの推定

(1)2 変数のケース

まず、基本モデルとして、時間価値パラメータ以外に、一変数のみを取り入れた、合計二変数モデルを推定した。用いた変数は表 3-1-1 に掲げた各種変数から、経路選択に影響を与えると考えられる代表的な 6 変数である。以下に、パラメータ値を変動させ、それに対応した目的関数 (式(7)の重み付き重複率) の等高線図を示す (図 4-3-1~6)。

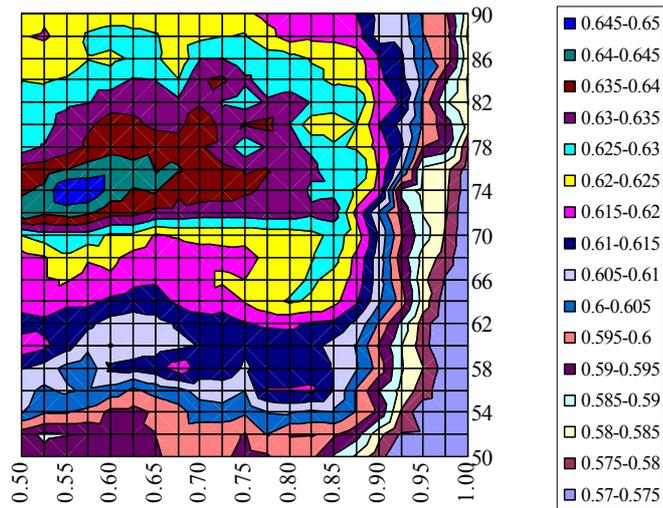


図 4-3-1 時間価値（縦軸：円／分）と重さ指定ダム（横軸）の重複率

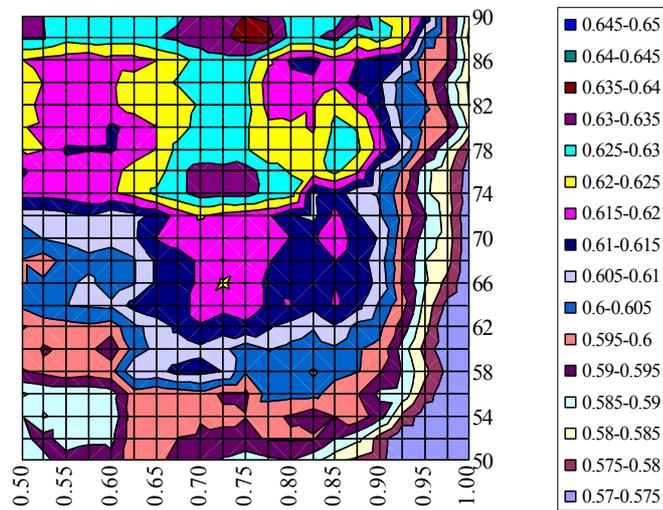


図 4-3-2 時間価値（縦軸：円／分）と高さ指定ダム（横軸）の重複率

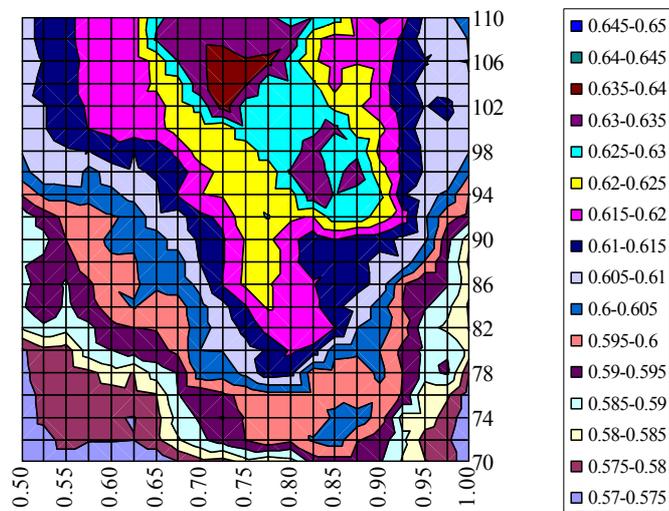


図 4-3-3 時間価値（縦軸：円／分）と4車線以上ダム（横軸）の重複率

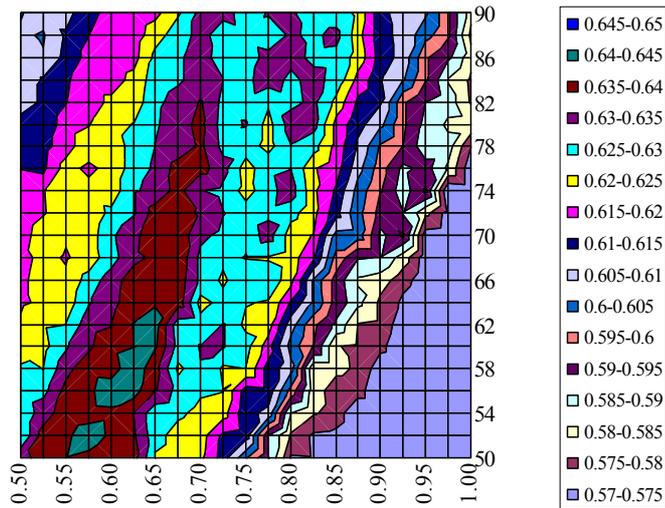


図 4-3-4 時間価値（縦軸：円／分）と高速道路ダメージ（横軸）の重複率

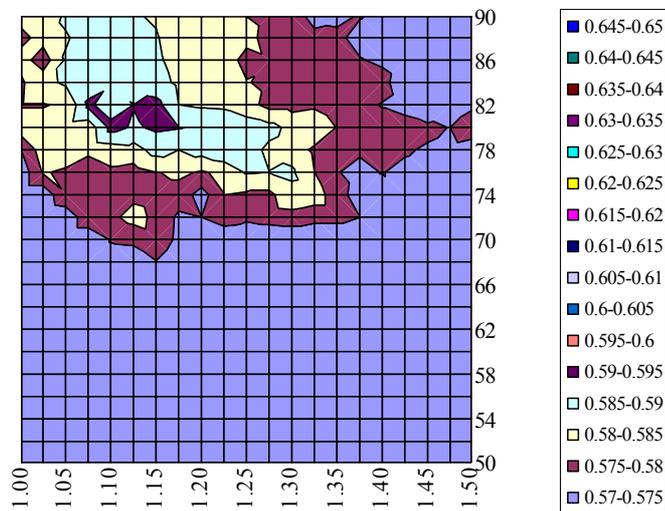


図 4-3-5 時間価値（縦軸：円／分）と市街地ダメージ（横軸）の重複率

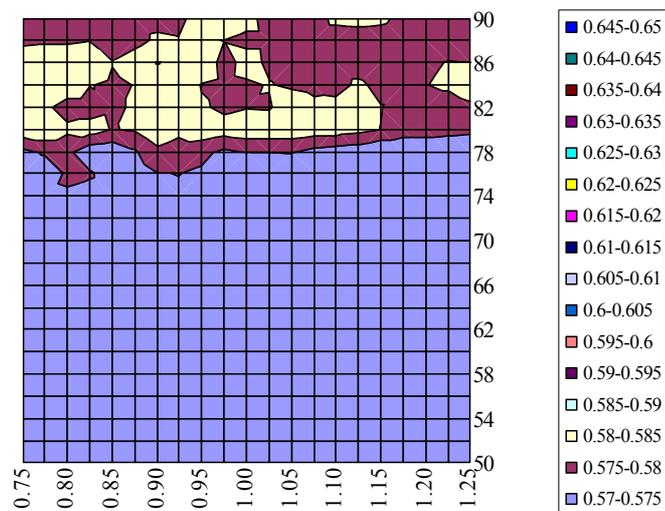


図 4-3-6 時間価値（縦軸：円／分）と環状 7 号線内側ダメージ（横軸）の重複率

推定結果から、初期重複率（0.48151）に比して、十分な大きさの重複率が算出されており、モデルにより、実経路が再現されていることが確認できる。各モデルの最大重複率を与えるパラメータ値とその重複率を表 4-3-1 にまとめた。結果から、「重さ指定ダミー」を含んだモデルの説明力が最も高いことがわかる。また、時間価値パラメータは概ね 75 [円/分] (=4500 [円/時]) 程度を示すケースが多く、これは従来公表されている貨物自動車の時間価値（道路整備の費用対効果マニュアルなど）と大きな相違はない。「市街地ダミー」や「環状 7 号線内ダミー」は十分な説明力向上には結びついておらず、リンク変数に比して、面的な情報は大型車の経路選択に大きな影響を与えないことが推察されよう。

表 4-3-1 2 変数のパラメータ推定結果

モデル番号	変数名	パラメータ値	重複率
2-1	時間価値 [円/分]	74	0.64962
	重さ指定ダミー	0.550	
2-2	時間価値 [円/分]	88	0.63677
	高さ指定ダミー	0.775	
2-3	時間価値 [円/分]	102	0.63754
	4 車線以上ダミー	0.725	
2-4	時間価値 [円/分]	58	0.64372
	高速道路ダミー	0.625	
2-5	時間価値 [円/分]	80	0.59173
	市街地ダミー	1.100	
2-6	時間価値 [円/分]	86	0.58515
	環状 7 号線内側ダミー	0.900	

表 4-3-1 のモデルでは、「重さ指定」「高さ指定」「4 車線以上」「高速」といったリンク属性に関する変数の説明力が高いことが確認されたが、これらの変数間には大きな相関があることが考えられる。例えば、高速道路の殆どは 4 車線以上であろうし、重さ指定道路と高速道路の相関は高いであろう。回帰分析の多重共線性を避ける意味でも、ここでこれら変数間の関連性について確認する。

表 4-3-2 変数間の重複リンク距離の比率

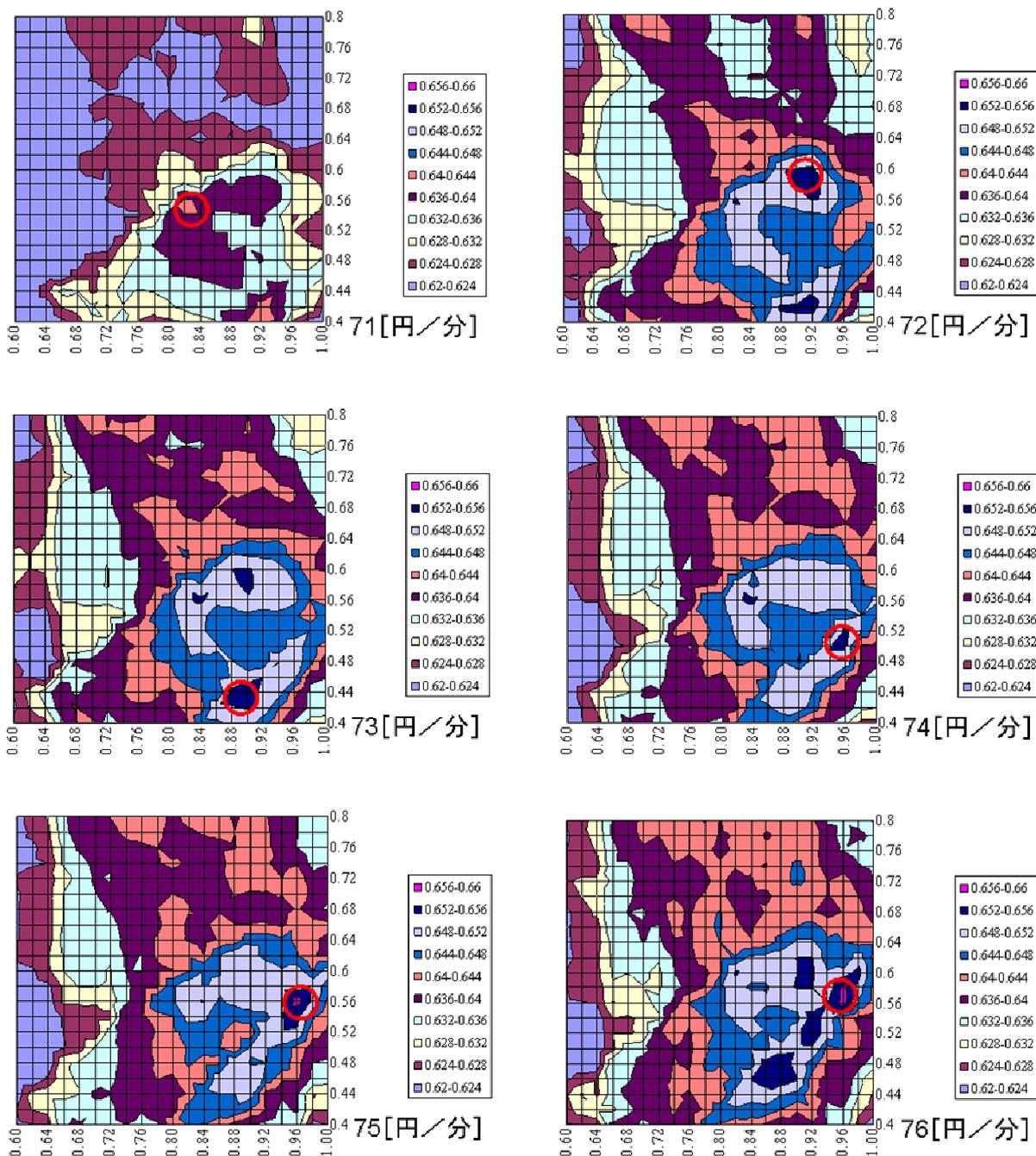
	重さ指定 D	高さ指定 D	4 車以上 D	高速道 D	市街地 D	環 7 内 D
重さ指定 D	0.3567	0.2218	0.1728	0.0558	0.1108	0.0287
高さ指定 D	0	0.2617	0.1517	0.0475	0.1041	0.0196
4 車以上 D	0	0	0.2185	0.0524	0.1200	0.0472
高速道 D	0	0	0	0.0562	0.0227	0.0102
市街地 D	0	0	0	0	0.2739	0.0576
環 7 内 D	0	0	0	0	0	0.0591

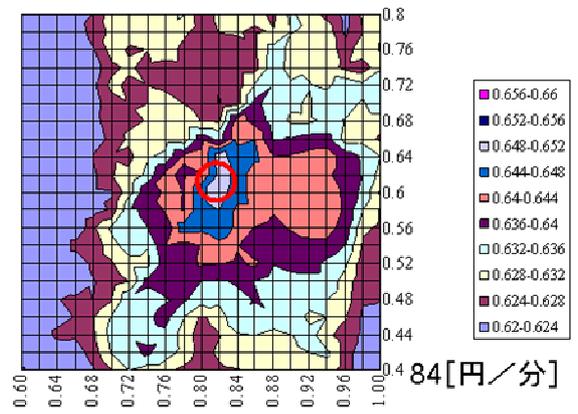
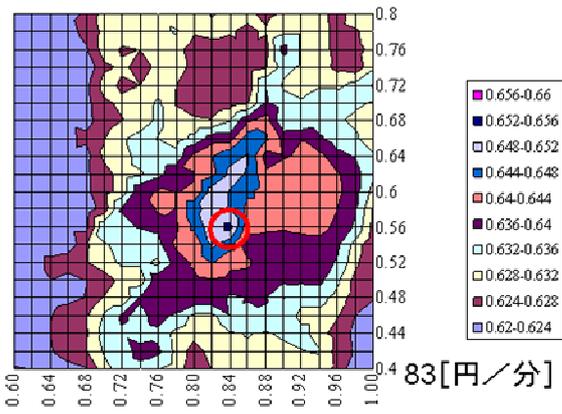
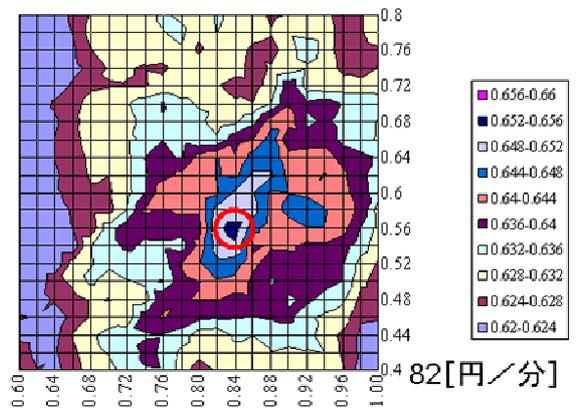
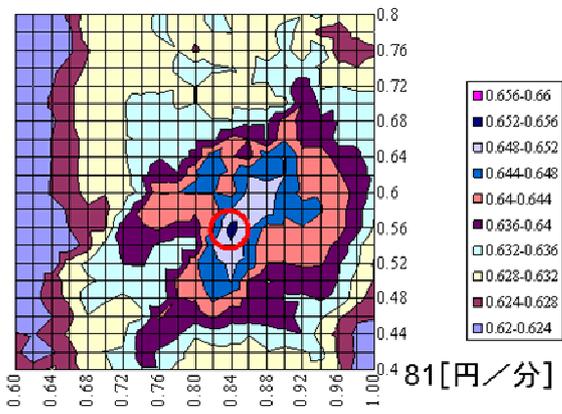
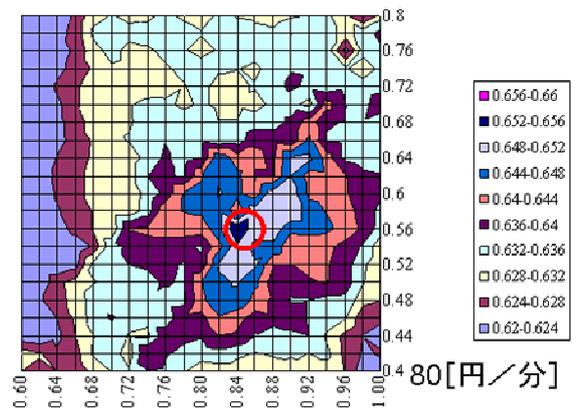
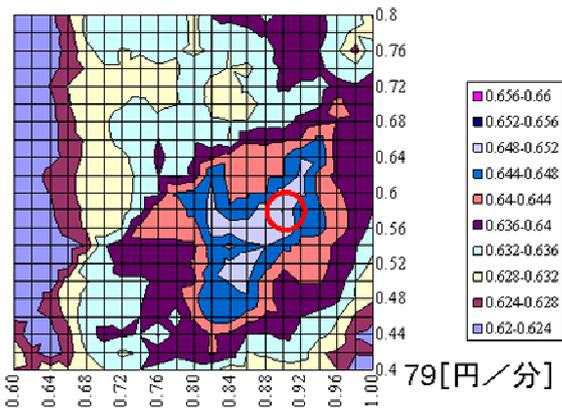
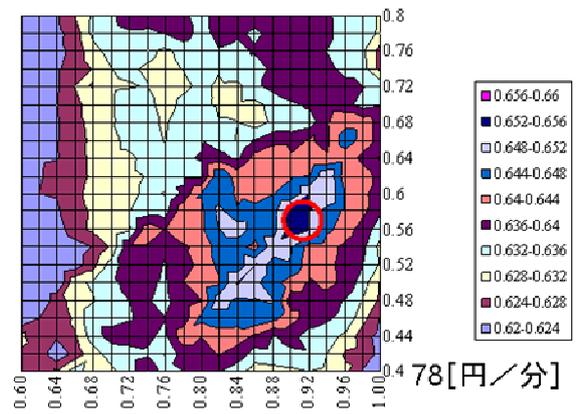
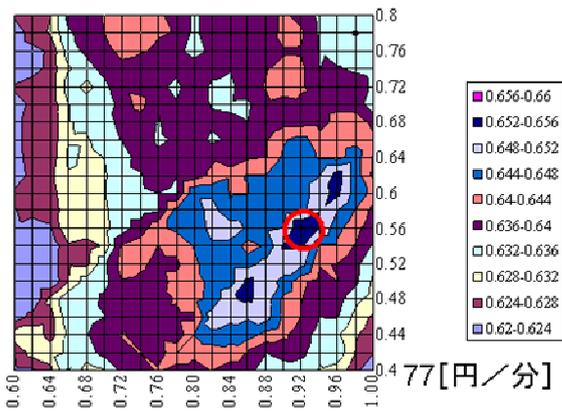
表 4-3-2 は、各種リンクダミー変数が 1 となるリンクの割合を示している。例えば、「行：重さ指定一列：重さ指定」の値は 0.3567 になっているが、これは分析対象全リンク長のうち、重さ指定リンク長の総計が 35.67%であることを表す。同様に、「行：重さ指定一列：高さ指定」の 0.2218 は、重さ指定でか

つ高さ指定の合計リンク長が全リンク長の 22.18%であること、すなわち、重さ指定リンクのうち、約 62% ($=0.2218/0.3567=0.622$) は高さ指定道路でもあることが分かる。高速道路は全リンク長に対し、5.6%に過ぎないが、そのうちの 99%は重さ指定道路、85%は高さ指定道路であり、高さ指定道路が高速道路上でも少なからず隘路となる可能性が示唆される。

(2)3 変数のケース

次に、時間価値以外に二変数を用いた場合のモデル構築を試みた。ここでは、二変数の場合に説明力が高かった順に、「重さ指定道路ダミー」と「高さ指定道路ダミー」を取り上げ、時間価値を変化させた場合の目的関数等高線図を示す (図 4-3-7)。





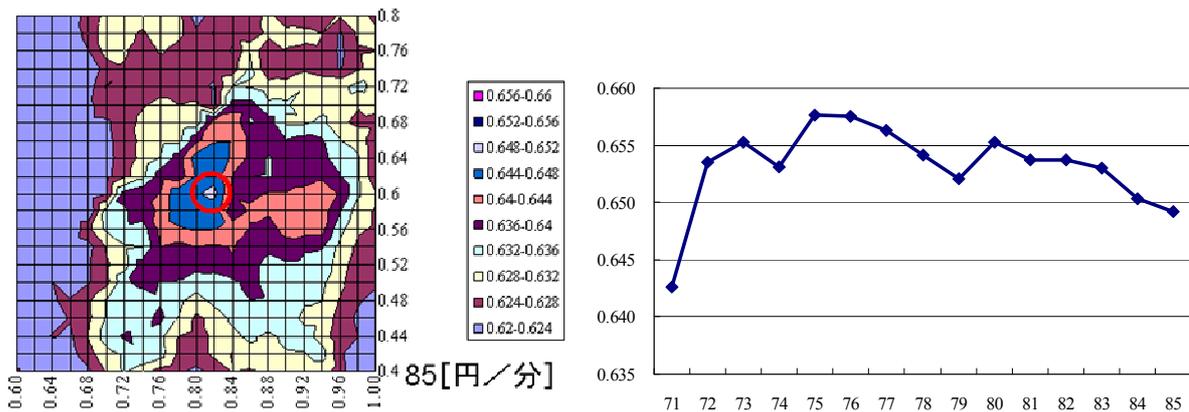


図 4-3-7 3変数の場合の等高線図と各図の最大目的関数値

パラメータ推定値としては、時間価値が 75 [円/分] の場合の、重さ指定ダミー=0.56、高さ指定ダミー=0.96 を得る。しかし、最大値を与えるポイントは離散的に移動することもあり、本モデルで安定的なパラメータ値を得るためには、何らかの改良が必要となると言えよう。

(3)4 変数以上のケース

3 変数以上の場合は、視認することも困難であるため、Hyodo(2001)で提案された遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) によりパラメータ推定を行った。ここで用いた GA では、未知パラメータを 7 ビット (=0~127) の解像度で表し、下記に示す遺伝子数、世代数で交配させる方法を用いた。

遺伝子のビット数	7
遺伝子数	20
世代数	50
突然変異率	0.03
スケールパラメータ (線形 scaling)	2.0

GA は繰り返し回数が多くなるほど、最適値が更新される可能性が高いため、初期値を変え、数回パラメータ推定を行い、その中で最も適合度の高い値を得た。推定結果の一例を表 4-3-3 に示す。変数の数の増加に伴い、重複率も 0.66218 と大きな値が得られていることが分かる。

表 4-3-3 4 変数のパラメータ推定結果

モデル番号	変数名	パラメータ値	重複率
4-1	時間価値 [円/分]	95.8	0.66218
	重さ指定ダミー	0.6031	
	高さ指定ダミー	0.8922	
	4 車線以上ダミー	0.7516	

(4)車種別モデルの検討

本経路調査データは、3.1 で述べたように、大きく「特殊車 (コンテナトレーラーなど特大車)」と「大

型貨物車（積載重量 10t 程度のトラック）」の 2 車種に分類可能である。そこで、この 2 車種別にサンプルを分け、それぞれについて、代表的な 3 変数モデルを構築した。パラメータ推定方法は、(3)と同様、GA を用いている。結果は表 4-3-3 の通りで、時間価値は特殊車で極めて低く、大型貨物車は高い結果が得られた。これはコンテナトレーラーなどは、朝夕締切の少頻度運送が多く、混雑時間帯を避けた一般道走行の割合が高いことに起因すると考えられる。それに対して、日中も多頻度運行が見られる 10t クラスの大型貨物車では、時間指定の遵守や高付加価値貨物の運送など、高速道路の利用率も高いことから、高い時間価値の推定結果になっていると思われる。

表 4-3-4 車種別のパラメータ推定結果

モデル番号	変数名	パラメータ値	重複率
3-2 特殊車	時間価値 [円/分]	16.6	0.67650
	重さ指定ダミー	0.8750	
	高さ指定ダミー	0.8625	
3-3 大型貨物車	時間価値 [円/分]	147.8	0.76821
	重さ指定ダミー	0.7125	
	高さ指定ダミー	0.8750	

4.4 東京都市圏におけるモデル適用事例

得られたモデルを用いて、本研究の目的である大型貨物車走行経路特性を踏まえた、首都圏の道路整備について定量的評価を試みる。用いたモデルは表 4-3-1 の「時間価値」「重さ指定道路」2 変数を含む「2-1」モデルである。今回の東京都市圏物資流動調査では、事業所アンケートから、大型貨物車の搬入・搬出先が分かるため、それを用いた大型貨物車の OD 表が、市区町村単位で作成されている。そこで、分析で用いた首都圏道路ネットワークに、本モデルを適用し、各 OD ペアをモデルによる最短認知経路に割り当てる計算を行った。図 4-4-1 は現況、図 4-4-2 は建設中の主要な道路が完成した場合の大型貨物車の予測走行経路を示す。主に、環状道路の整備（外環東側、圏央道、首都高中央環状線）により、129 号線や環状 7 号線の大型車交通量が軽減することが見て取れる。しかし、横浜から湘南エリアのバイパス建設が、東海地方と横浜港湾エリアを結ぶ新たな大型貨物の走行ルートとなり、周辺環境面から望ましくない流れが生じる可能性が示唆される。これに対し、外環西区間や横浜環状線西北部など、建設が議論されているいくつかのリンクを追加すると（図 4-4-3）、今述べたルートや、23 区内の大型貨物車走行量が分散化し、適切な走行条件が達成されると思われる。

このように、本モデルを用いることにより、大型車特有の経路選択特性を加味した道路ネットワーク評価が可能になる。ここでは広域ネットワークの評価のみに止まったが、より狭いエリアでも（例えば湾岸地域など）、同様の分析で、大型車対応の missing link の優先的な整備順位の評価なども行うことができる。

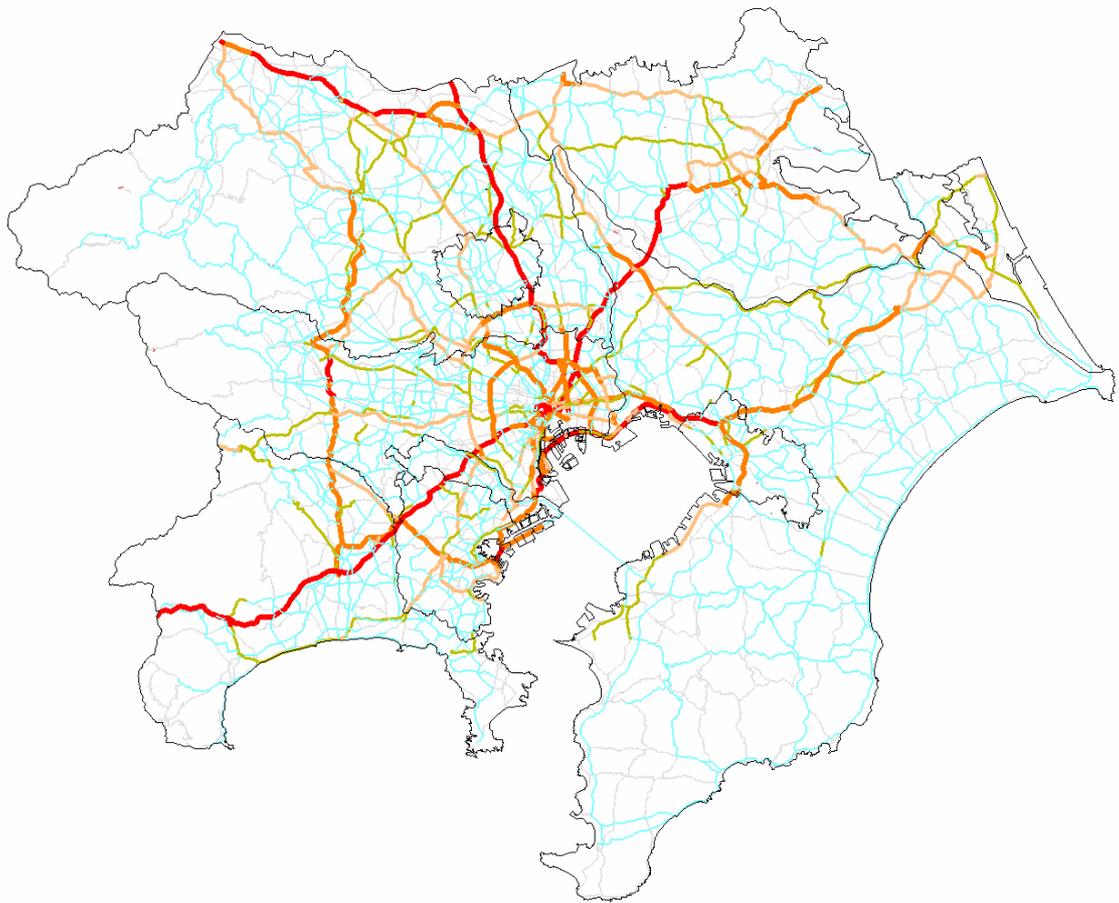
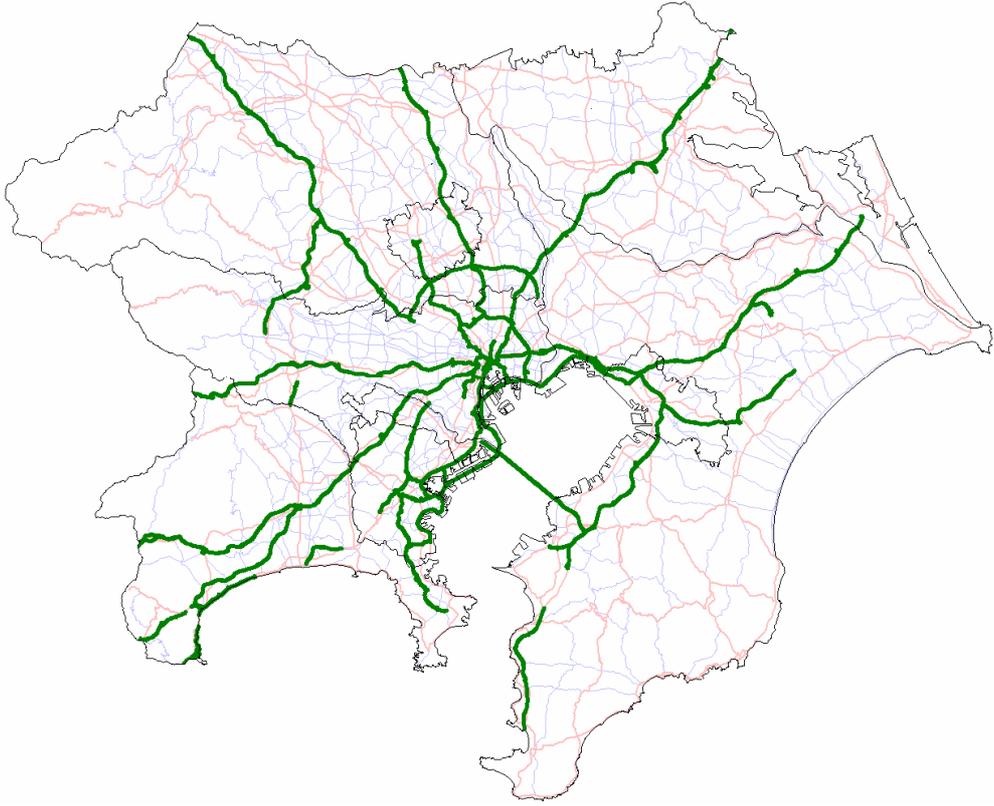


図 4-4-1 現状道路ネットワーク（上図）およびその条件下の大型貨物車走行推計経路

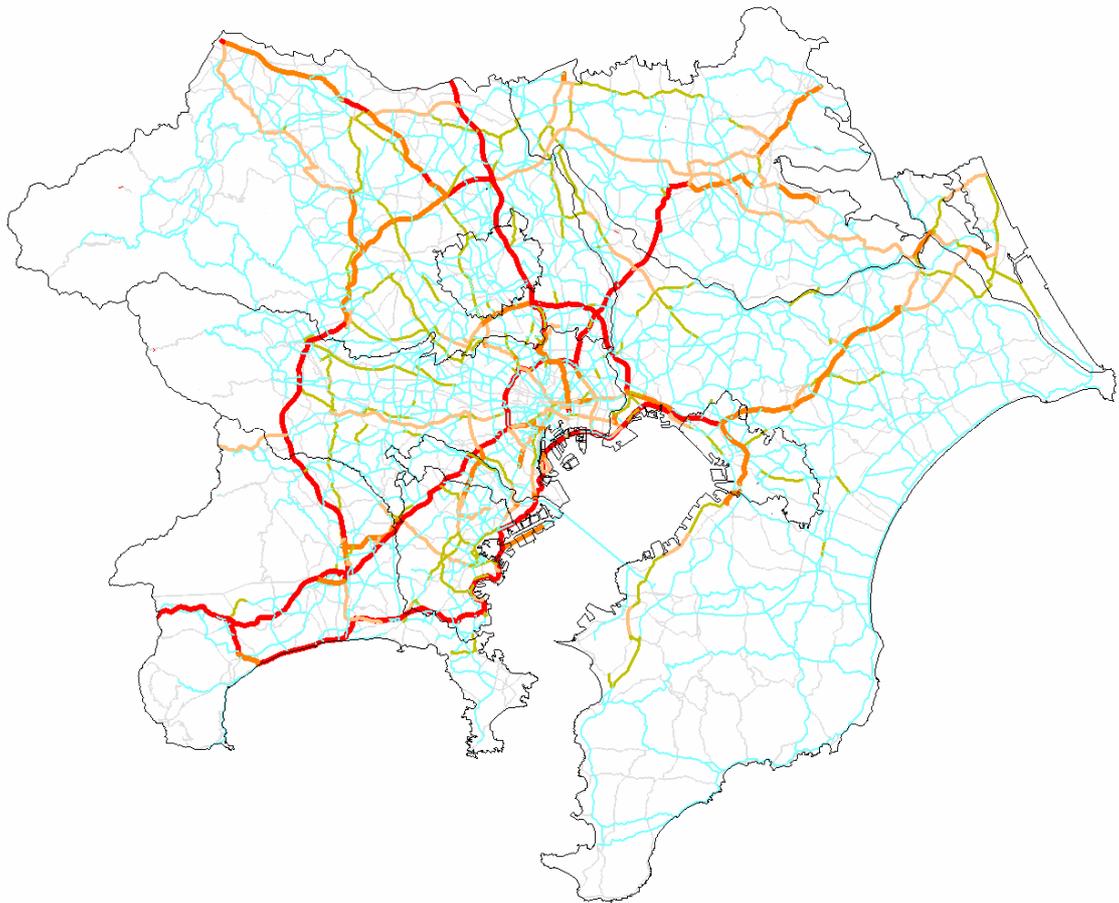
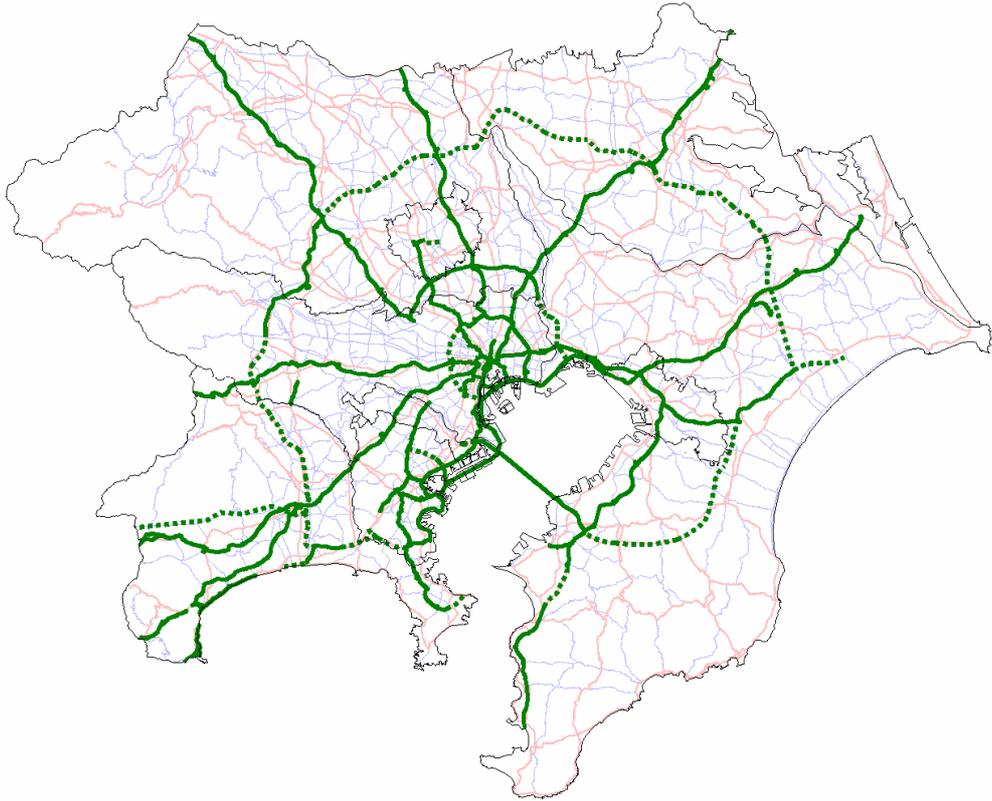


図 4-4-2 将来事業予定道路ネットワーク（上図）およびその条件下の大型貨物車走行推計経路

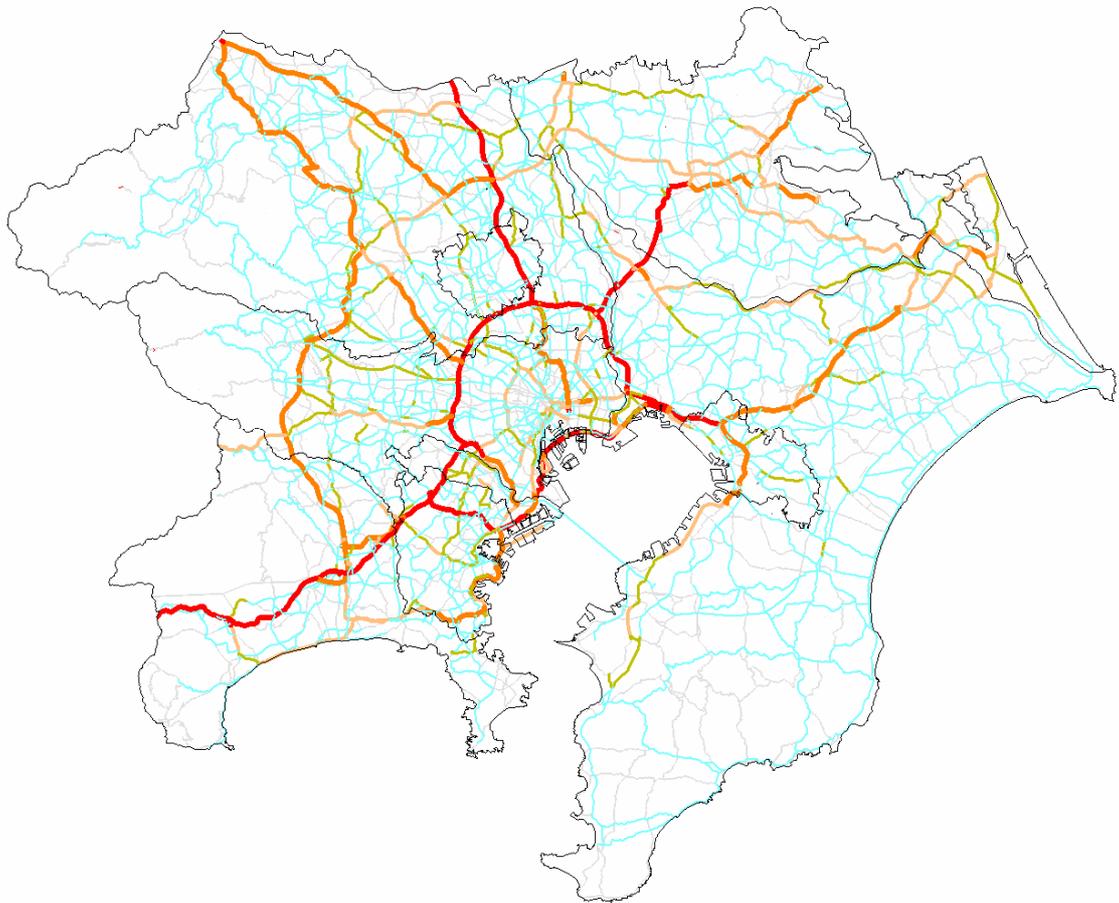
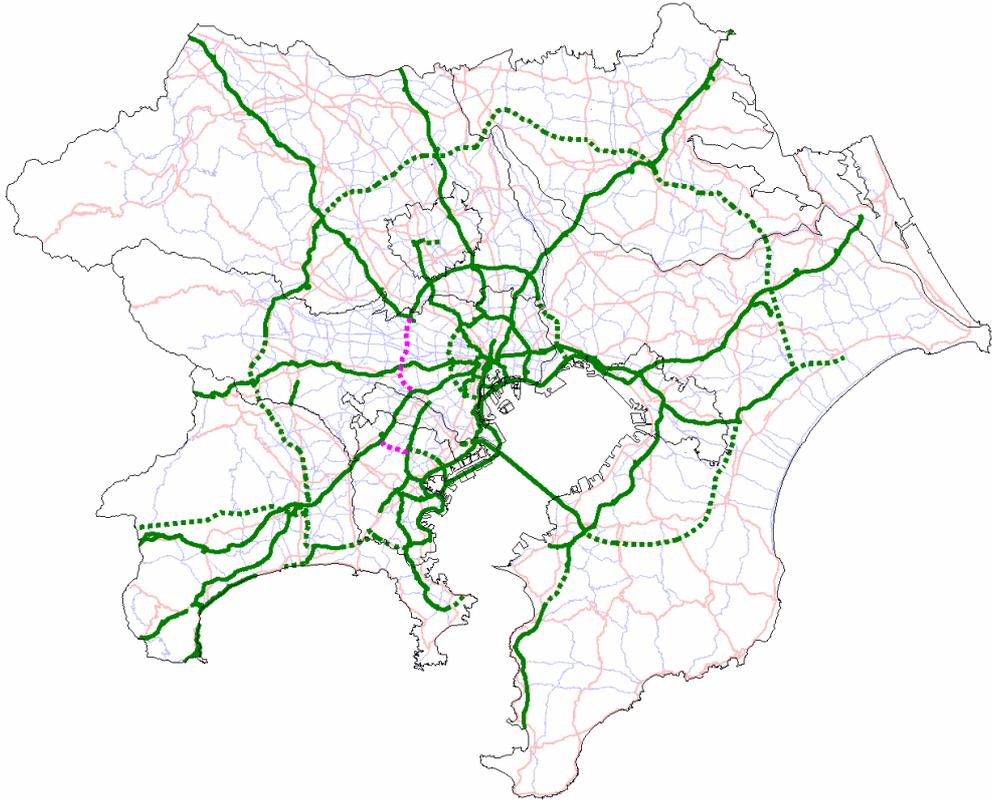


図 4-4-3 将来構想道路ネットワーク（上図）も含めた条件下の大型貨物車走行推計経路

5. 既存経路選択モデルとの比較検討

5.1 既存モデルの概略

離散選択モデルにおける経路選択モデルは、これまで多くの改良や提案がなされてきたが、未だ幾つかの課題を有している。簡単にその問題点についてまとめておこう。

①選択肢集合の設定問題 (Choice Set Generation Problem) : 手段選択や目的地選択と異なり、ネットワーク上の経路で、特定の選択肢集合を仮定することは困難である。もちろん、ある種の仮定をおけば、それに応じた選択肢集合は形成できるが、それがすなわちベストの経路選択モデルを導くとは限らない¹。一般に非集計モデルでは、選択された選択肢以外の選択肢に、効用の劣る選択肢を含めれば、見かけ上モデルの説明力は向上する。例えば、代替案選択肢として最短所要時間経路を持つ2肢モデルを例にとり、変数の一つに所要時間を取り上げることを考える。すると、選択された経路より最短所要時間経路が明らかに短い所要時間を有するため、所要時間パラメータは無限大となり、この尤度関数は収束しない。このことから推察されるとおり、選択肢集合形成ルールと、モデル推定結果は密接に関係している。

②重複経路の考慮 (Overlapping Path Problem) : ネットワーク上の経路は互いに重複区間を持つことが多い。これは都市内鉄道でも、種々の重複経路が存在し、最短サービス経路を提供するソフトが多く存在することからも理解されよう。経路間の重複がある場合、複数経路間で同様の情報を共有することになり、離散選択モデルの誤差項の仮定である、IID が成り立たない。結果として、推定パラメータにバイアスが生じることになり、これを回避するために多くの方法論が提案されてきた。後述する C-Logit や、Path-Size-Logit が適用可能性の面で簡便な方法であるが、重複経路を誤差相関の問題に帰してモデル構築を行う、構造化 Probit や、Mixed Logit モデルも同様の結果を与える (日比野ら(2004))。

③配分交通量計算との整合性問題 : 本分析では、大型車の経路の変更が、配分交通量の結果に与える影響は少ないとの仮定を置おき、配分計算結果は固定している。しかし、それが無視し得ない場合は、配分交通量計算の方法と、経路選択モデルとの整合性が課題となる。例えば、確定的均衡配分を用いるのであれば、同モデルは推定プロセスには All-Or-Nothing(AON)法を用いているので、設定された時間価値を用いた一般化費用で配分計算を行うことになる。しかし AON 法故、①で示した選択肢集合を考慮した方法論は適用できない。選択肢集合を仮定する、利用者均衡モデルでは、経路選択モデルをある程度自由に採択することができ、関連する研究も多くなされている。しかし、本研究のように、大型貨物という、車種別配分を前提にした研究例は殆どない。これは車種別利用者均衡 (確定的均衡についても同様だが) の厳密な求解が困難であることに起因する。

これら問題点を踏まえて、ここでは重複率最大化モデルの代案となる各種モデルを取り上げ、その特性比較を行う。故に、③で示した問題は対象外とする。

まず、自由度の高い経路選択モデルの選択肢集合形成方法の一つとして、最も簡単な方法は、Labeling Approach である。これは選択肢として、例えば、「最短経路」「最小費用経路」「右折回数最小経路」など、種々の特性別の際だった経路を列挙し、それらをもって選択肢集合とする方法である。ここでは、簡便な手法として、この Labeling Approach をとりあげることにした。具体的には、「実経路」に加え、「最短距離経路」「最短所要時間経路」「最小費用経路」「重複率最大化モデル推計経路」の最大 5 経路を選択肢集合とする。しかし、これら経路間では当然のことながら重複区間が存在するため、上記②の

¹ そもそも「ベストの経路選択モデル」の「ベスト」の判断基準もあいまいである。

問題が生じることになる。これを回避（緩和）するため、重複経路を考慮可能な、比較的適用性の高い方法として、C-Logit と Path-Size-Logit モデルを、また若干式構造が複雑である Cross Nested Logit モデルも比較対象に採用することにする。各々のモデル概略は以下の通り。

C-Logit モデル：効用項の補正項として、ad-hoc な重複度合いを表す下記の式を定義する。これは Commonality Factor と呼ばれる。

$$CF_i = -\beta_c \ln \left(\sum_{j \in C} \left(\frac{L_{ij}}{L_i L_j} \right)^\gamma \right) \quad (8)$$

ここで L_i, L_j は経路 ij の経路長で、 L_{ij} はそのうちの ij 間の重複経路長である。 γ は未知パラメータであるが、過去の事例から、2 程度の値が設定されるケースが多い。パラメータ β_c は効用の共通変数パラメータとして推定される。故に、モデルの効用項は、 $V_i^* = V_i - CF_i$ として推定されることになる。なお、Commonality Factor としては(8)式以外にも多くの変形式が提案されているが（日比野ら(2004)、Ramming(2001)など）、ここでは最も一般的に用いられている上式を取り上げることにした。

Path-Size-Logit モデル：C-Logit モデルと同様、効用項に重複に関わる補正項を導入する。C-Logit の Commonality Factor が極めて ad-hoc な式であるのに対し、Path-Size-Logit の補正項は、「選択肢集計の補正」という、既存の非集計モデルで提案された定義に基づいている。簡単に記せば、特定のリンクが複数の経路を有する（経路が重複している）場合、経路という選択肢が、そのリンクで「集計」されていると考える。選択肢の集計を考慮した効用関数の推定方法は、一般には目的地選択モデルにおける規模変数の導入（ $V_i^* = V_i + \ln[M_i]$ ：ここで M_i は選択肢 i の規模を表す変数）として知られるが、この選択肢効用をリンク効用（ V_a ）に、規模変数をリンク a を通過する経路数に置き換えた方法と見なせる。具体的な補正項の式は、

$$PS_i = \sum_{a \in \Gamma_i} \left(\frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_{j \in C} \delta_{aj}} \quad (9)$$

である。ここで、 Γ_i は経路 i のリンク集合、 δ_{aj} は経路 j へのリンク a の包含ダミー変数である。C-Logit と同様に、推定効用関数は、 $V_i^* = V_i + \beta_{PS} \times \ln(PS_i)$ となり、共通変数としてパラメータ β_{PS} を推定することになる。

Cross Nested Logit モデル：GEV モデルから導かれ、MNL や Nested Logit(NL)、Paired Combinatorial Logit(PCL)モデルをその特殊解とする式構造を有する。経路選択モデルでは、図 5-1-1 のように、リンクを上位、経路を下位に持つ Nested 構造となり、かつ Nest 間の重複（一つのリンクが複数の経路に属する）も考慮することになる。まず、下位の特定リンク a が選ばれた条件付き経路選択確率は、

$$P(i | a) = \frac{(\alpha_{ai})^{\gamma_\mu} \exp[V_i/\mu]}{\sum_{i'} (\alpha_{ai'})^{\gamma_\mu} \exp[V_{i'}/\mu]} \quad (10)$$

と定義される。ここで、 μ は通常の NL モデル同様、上位一下位間の（上下間）スケールパラメータであり、 α_{ai} はネスト間（横断）の帰属の度合いを表す allocation パラメータである。Prashker et al.(1998?)

では、この allocation パラメータ式として、

$$\alpha_{ai} = \left(\frac{L_a}{L_i} \right)^\gamma \delta_{ai} \quad (11)$$

を採用している。本分析でも、(11)式を採用し、かつ安定的なパラメータ推定のため、 $\gamma=1$ とした。さて、上位のリンクの選択確率は、

$$P(a) = \frac{\left(\sum_i (\alpha_{ai})^{\gamma/\mu} \exp[V_i/\mu] \right)^\mu}{\sum_{a'} \left(\sum_i (\alpha_{ai})^{\gamma/\mu} \exp[V_i/\mu] \right)^\mu} \quad (12)$$

で与えられるため、求めるべき経路 i の選択確率は(10)、(11)式より、

$$P(i) = \sum_a P(i|a)P(a) \quad (13)$$

となる。

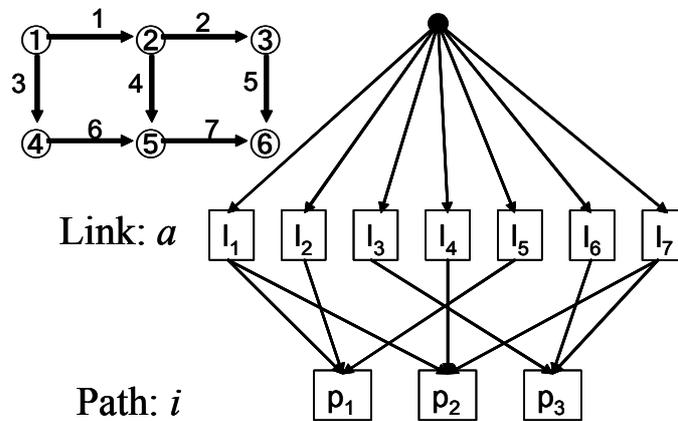


図 5-1-1 CNL モデルの構造 (7 リンク・3 経路の例)

5.2 モデル推定結果にもとづく比較分析

本分析では、前述の 5 つの選択肢を選択肢集合の要素とする Labeling Approach を検討した。また、経路重複について C-logit および Path-Size-Logit モデルを援用し、それらの効果についてもあわせて考察することとした。

表 5-2-1 は、通常の MNL モデルの適用例である。選択肢の組合せに応じて、12 種類の推定結果が示されている。表中、網掛け（薄青色）部分のパラメータは、符号条件を満たさない推定結果である。表中、「最大重複」とは、表 4-3-1 の「モデル 2-1」である、「時間価値」と「重さ指定道路ダミー」変数を用いて算出された経路を示す。選択肢集合として、実経路と、最短時間・最小費用・最大重複率モデル経路との二枝選択モデル結果が示されていないのは、5.1 で概説したとおり、説明変数にこれら経路を特定化する変数が含まれており、尤度関数が収束しないためである。

表 5-2-1 通常ロジットモデルの推定結果（パラメータの下段は t 値）

モデル 番号	実 経 路	最 短 距 離	最 短 時 間	最 小 費 用	最 大 重 複	所要時間 [100分]	費用[万円]	重さ指定道 路長[Km]	初期尤度 最終尤度	尤度比
MNL-1	1	1	0	0	0	4.1631 2.26	-8.6017 -4.16	0.5361 7.75	-414.5 -230.8	0.4404
MNL-2	1	1	1	0	0	1.6005 1.99	-13.5696 -10.61	0.2128 11.45	-657.0 -468.2	0.2855
MNL-3	1	1	0	1	0	-5.8684 -5.84	-6.4619 -3.65	0.3415 10.28	-657.0 -432.7	0.3397
MNL-4	1	1	0	0	1	2.4267 4.08	2.5702 3.57	0.0632 6.43	-657.0 -625.9	0.0449
MNL-5	1	0	1	1	0	-3.2614 -6.20	-7.5158 -8.95	0.0991 8.82	-657.0 -581.6	0.1125
MNL-6	1	0	1	0	1	8.3528 7.58	2.8325 3.77	-0.0816 -5.35	-657.0 -574.7	0.1231
MNL-7	1	0	0	1	1	3.5163 5.47	13.7109 7.47	0.0145 1.51	-657.0 -583.0	0.1104
MNL-8	1	1	1	1	0	-3.4937 -6.53	-8.4658 -10.02	0.1281 11.24	-829.0 -704.4	0.1489
MNL-9	1	1	1	0	1	2.1205 3.99	-1.7596 -3.16	0.0528 6.40	-829.0 -789.0	0.0467
MNL-10	1	1	0	1	1	0.7085 1.55	3.0511 3.88	0.0688 7.62	-829.0 -764.1	0.0768
MNL-11	1	0	1	1	1	-0.1049 -0.28	-1.1726 -2.23	0.0294 3.84	-829.0 -820.3	0.0088
MNL-12	1	1	1	1	1	-0.3254 -0.83	-2.0692 -3.90	0.0560 7.31	-962.4 -928.3	0.0342

表 5-2-2 C-Logit モデルの推定結果（パラメータの下段は t 値）

モデル 番号	実 経 路	最 短 距 離	最 短 時 間	最 小 費 用	最 大 重 複	所要時間 [100分]	費用[万円]	重さ指定道 路長[Km]	Commonality Factor	初期尤度 最終尤度	尤度比
CL-1	1	1	0	0	0	1.8361 0.83	-11.9608 -4.42	0.5443 7.81	-1.0536 -2.02	-414.5 -228.7	0.4445
CL-2	1	1	1	0	0	2.8740 3.19	-11.1857 -7.89	0.2082 11.20	0.9073 3.22	-657.0 -462.4	0.2938
CL-3	1	1	0	1	0	-8.7850 -6.59	-9.7570 -4.96	0.3637 10.41	-1.3213 -3.57	-657.0 -426.3	0.3490
CL-4	1	1	0	0	1	5.4022 6.42	4.9772 5.33	0.0937 7.60	1.8395 6.45	-657.0 -599.9	0.0839
CL-5	1	0	1	1	0	-0.7037 -1.12	-4.6463 -5.10	0.1043 9.02	1.5382 6.45	-657.0 -555.1	0.1523
CL-6	1	0	1	0	1	13.4787 9.03	7.4914 7.13	-0.0515 -3.02	2.9619 8.75	-657.0 -509.5	0.2218
CL-7	1	0	0	1	1	4.9182 6.17	14.8895 7.54	0.0297 2.75	1.0293 3.65	-657.0 -575.7	0.1207
CL-8	1	1	1	1	0	-1.3832 -2.13	-6.1730 -6.69	0.1342 11.42	1.2648 5.22	-829.0 -687.8	0.1685
CL-9	1	1	1	0	1	5.2612 7.52	1.3116 1.97	0.0825 8.35	2.2363 8.44	-829.0 -737.6	0.1083
CL-10	1	1	0	1	1	2.4744 4.11	4.6646 4.85	0.0857 8.33	1.3121 5.10	-829.0 -748.9	0.0947
CL-11	1	0	1	1	1	2.5746 5.04	1.3329 2.11	0.0526 5.88	2.0587 8.51	-829.0 -768.7	0.0706
CL-12	1	1	1	1	1	2.1871 4.19	0.2762 0.44	0.0786 8.79	1.8984 7.86	-962.4 -885.8	0.0781

表 5-2-3 Path Size Logit モデルの推定結果 (パラメータの下段は t 値)

モデル 番号	実 経 路	最 短 距 離	最 短 時 間	最 小 費 用	最 大 重 複	所要時間 [100分]	費用[万円]	重さ指定道 路長[Km]	Path Size	初期尤度 最終尤度	尤度比
PS-1	1	1	0	0	0	(尤度関数収束せず)					
PS-2	1	1	1	0	0	3.8029 3.88	-11.8847 -8.88	0.2425 11.24	-1.6635 -4.76	-657.0 -454.7	0.3056
PS-3	1	1	0	1	0	-9.0839 -8.00	-10.5746 -6.08	0.2501 7.92	2.7237 7.35	-657.0 -402.7	0.3850
PS-4	1	1	0	0	1	6.4956 7.15	6.0419 6.24	0.1145 7.88	-3.4272 -8.74	-657.0 -569.0	0.1309
PS-5	1	0	1	1	0	0.3032 0.44	-4.2101 -4.37	0.1431 9.81	-3.2040 -8.34	-657.0 -526.5	0.1958
PS-6	1	0	1	0	1	14.4584 9.04	7.5016 6.80	-0.0488 -2.80	-2.9250 -7.96	-657.0 -529.6	0.1912
PS-7	1	0	0	1	1	9.1317 8.34	24.8866 8.77	0.0452 3.37	-4.1816 -9.05	-657.0 -514.2	0.2148
PS-8	1	1	1	1	0	-2.8244 -4.73	-7.8530 -8.92	0.1407 10.97	-0.4539 -2.49	-829.0 -701.1	0.1524
PS-9	1	1	1	0	1	7.8380 8.96	2.7536 3.69	0.1033 8.61	-2.7522 -9.88	-829.0 -713.1	0.1379
PS-10	1	1	0	1	1	2.0003 3.57	4.5794 4.90	0.0990 8.26	-0.9980 -4.63	-829.0 -751.9	0.0910
PS-11	1	0	1	1	1	4.5359 7.44	3.6134 4.90	0.0591 5.80	-2.7653 -10.39	-829.0 -735.3	0.1111
PS-12	1	1	1	1	1	2.2759 4.24	0.4452 0.70	0.0931 9.28	-1.4102 -7.53	-962.4 -891.7	0.0719

表 5-2-4 Cross Nested Logit モデルの推定結果 (パラメータの下段は t 値)

モデル 番号	実 経 路	最 短 距 離	最 短 時 間	最 小 費 用	最 大 重 複	所要時間 [100分]	費用[万円]	重さ指定道 路長[Km]	スケールパラ メータ(μ)	初期尤度 最終尤度	尤度比
CNL-1	1	1	0	0	0	(尤度関数収束せず)					
CNL-2	1	1	1	0	0	2.3660 1.80	-20.0975 -5.99	0.3055 6.45	2.3249 5.00	-657.0 -461.9	0.2969
CNL-3	1	1	0	1	0	(尤度関数収束せず)					
CNL-4	1	1	0	0	1	6.8788 4.72	6.8991 4.51	0.1206 4.73	3.5886 8.15	-657.0 -593.4	0.0968
CNL-5	1	0	1	1	0	-4.1590 -3.99	-11.0062 -5.18	0.1457 5.69	3.8060 7.75	-657.0 -548.1	0.1657
CNL-6	1	0	1	0	1	22.8095 5.26	8.9165 4.15	-0.1813 -4.22	3.8434 7.00	-657.0 -547.3	0.1669
CNL-7	1	0	0	1	1	5.5982 5.10	21.0474 5.93	0.0071 0.45	3.0980 6.75	-657.0 -564.9	0.1402
CNL-8	1	1	1	1	0	-3.7780 -5.96	-9.4704 -7.82	0.1467 7.87	1.5533 4.29	-829.0 -702.7	0.1524
CNL-9	1	1	1	0	1	7.9708 5.00	-0.6617 -0.47	0.1158 4.38	3.8405 7.32	-829.0 -739.3	0.1083
CNL-10	1	1	0	1	1	2.0916 2.85	5.8939 3.91	0.1161 5.91	2.4876 5.96	-829.0 -752.9	0.0918
CNL-11	1	0	1	1	1	2.4045 3.37	1.0201 0.98	0.0361 2.46	3.5686 9.76	-829.0 -765.6	0.0764
CNL-12	1	1	1	1	1	1.5508 2.22	-1.7084 -1.69	0.1126 6.26	3.2947 8.17	-962.4 -893.0	0.0721

表 5-2-5 MNL の最終対数尤度からの増加分

モデル 番号	実 経 路	最 短 距 離	最 短 時 間	最 小 費 用	最 大 重 複	C-Logit	Path Size Logit	CNL
1	1	1	0	0	0	2.1		
2	1	1	1	0	0	5.8	13.5	6.3
3	1	1	0	1	0	6.4	30.0	
4	1	1	0	0	1	26.1	56.9	32.5
5	1	0	1	1	0	26.6	55.1	33.5
6	1	0	1	0	1	65.1	45.1	27.3
7	1	0	0	1	1	7.3	68.8	18.1
8	1	1	1	1	0	16.6	3.3	1.7
9	1	1	1	0	1	51.4	75.8	49.7
10	1	1	0	1	1	15.2	12.2	11.2
11	1	0	1	1	1	51.6	85.1	54.7
12	1	1	1	1	1	42.5	36.6	35.3

結果より、多くの選択肢の組合せで主要な変数の符号条件が満たされないことが分かる。特に、最大重複率モデル結果が選択し集合に含まれると、符号が反転するケースが殆どである。符号条件、説明力双方の面で良好なモデルは、選択肢集合に「最短距離」「最短費用」が含まれるケース（MNL-3、CL-3、PS-3）であり、3種のモデルで共通した結果となった。これは、先にも述べたとおり、見かけ上、代替案に低い効用となる選択肢が設定されるとモデル説明力が向上する効果によるものと考えられる。なぜならば、表 4-2-1 から分かるとおり、最小費用経路は、最短時間に比べて実利用経路との重複率は低く、実利用経路の効用を最大化する尤度関数において、より低い効用を保持する選択肢であることは明らかである。それ故、実利用経路に近い経路である最短時間経路や、最大重複率モデル経路が選択し集合に含まれると、パラメータの符号が逆転する（もしくはそれら経路間の差別化がし難くなる）結果を招くと考えられる。

C-Logit モデルと、Path-Size-Logit モデルの比較からは、概ね、Path-Size-Logit モデルの説明力が高いことが確認できた。しかし、C-Logit モデルの Commonality Factor 式は多くの変形式や追加的パラメータの設定が可能であり、それらを工夫すれば適合性は改善可能であろう²。

² ちなみに、Path-Size-Logit モデルのパラメトリック化も Ramming(2001)や、Bierlaire(2005)で議論されている。

5.3 Dial アルゴリズムを組み込んだ重複率最大化モデルの検討

—— Path Size Dial Logit Model の提案とその検証 ——

(1) 「Dial 組み込みモデル」について

笹井ら(2004)では、重複率最大化モデルの拡張モデルとして、「Dial アルゴリズムを組み込んだ重複率最大化モデル」を提案した。これは、通常の実験率最大化モデルが最短認知経路という唯一の経路のみを扱うのに対し、Dial アルゴリズムで規定される（限定された）経路を対象と可能になるように、パラメータ推定式を定義したモデルである。

重複率最大化モデルのパラメータ推定式を再掲すると、それは下記の通りであった。

$$D(\omega, \beta) = \frac{\sum_n X_n \cdot D_n(\omega, \beta)}{\sum_n X_n} = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\omega, \beta) \cdot l_a}{\sum_n X_n} \quad (7)$$

さて、ここで、Dial アルゴリズムで推計されるリンク別選択確率を $q_{na}(\omega, \beta, \theta)$ とする。この選択確率は、Dial アルゴリズムのスケールパラメータ θ を設定すれば、確率的均衡配分モデルで使用されている Dial アルゴリズムプログラムを援用し、推計可能である。重複率最大化モデルでは、認知最短経路の特定リンク通過の有無を表すダミー変数を導入していたが、ここではその代わりに、導入された選択確率を用いて、パラメータ推定式を次のように置き換える。

$$D(\omega, \beta, \theta) = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \cdot q_{na}(\omega, \beta, \theta) \cdot l_a}{\sum_n X_n} \quad (14)$$

この目的関数の最大化によりパラメータ推定を行うのが、「Dial アルゴリズムを組み込んだ重複率最大化モデル」であった。笹井ら(2004)においては、3都市の自転車利用経路調査結果から、本モデルと重複率最大化モデルとの比較を行い、殆どのケースで、推定パラメータの一つであるスケールパラメータ θ は、無限大になると報告されている。Dial アルゴリズムの性質から、スケールパラメータ (θ) が無限大の場合、推計される経路は一本の最短経路に集約されることが知られている。これはすなわち、「Dial 組み込みモデル」は重複率最大化モデルを一ケース（スケールパラメータが無限大のケース）とする、より一般的なモデルであるが、得られたデータに関しては、最適モデルとしては重複率最大化モデルであったことを表していた。

「Dial 組み込みモデル」が検討されたのは、この事例のみで、未だ十分な適用検証がなされたとはいえない。そのため、まず本研究でも大型車経路選択データを用いた同モデルの適用を試みる。

モデルは前節の検討と同様、「時間価値」「重さ指定道路ダミー」の2変数を含んだモデルであり、それにスケールパラメータ (θ) が新たな未知パラメータとして加わる。 $\theta=0.1, 0.5, 6, 100$ の4ケースの目的関数等高線を図 5-3-1~4 に示す。

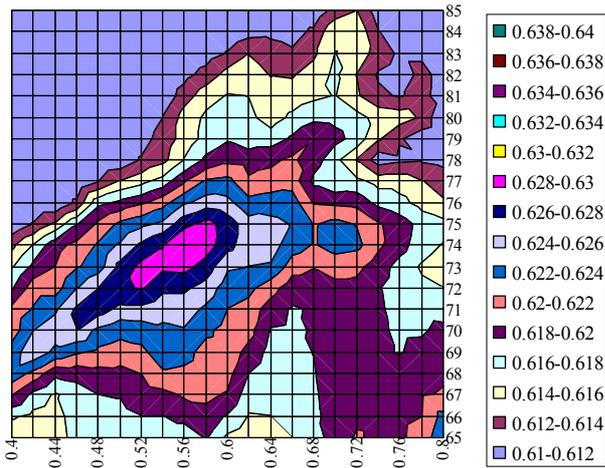


図 5-3-1 Dial 組み込みモデル ($\theta=0.1$)

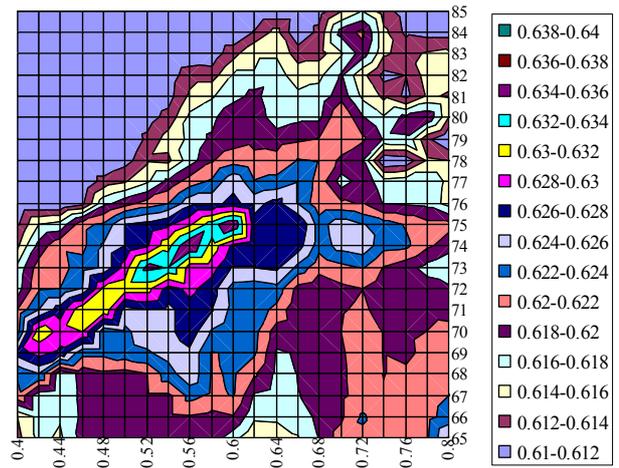


図 5-3-2 Dial 組み込みモデル ($\theta=0.5$)

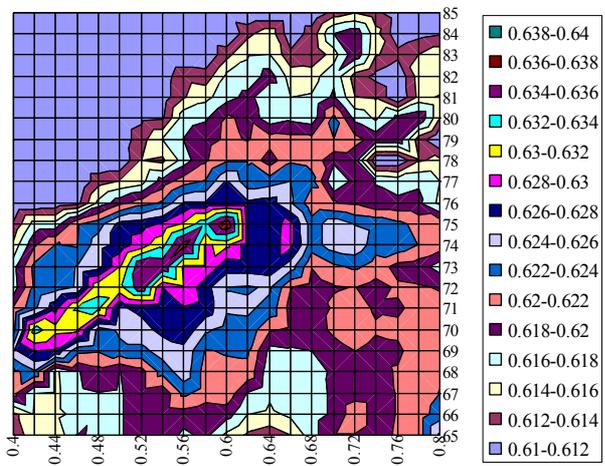


図 5-3-3 Dial 組み込みモデル ($\theta=6.0$)

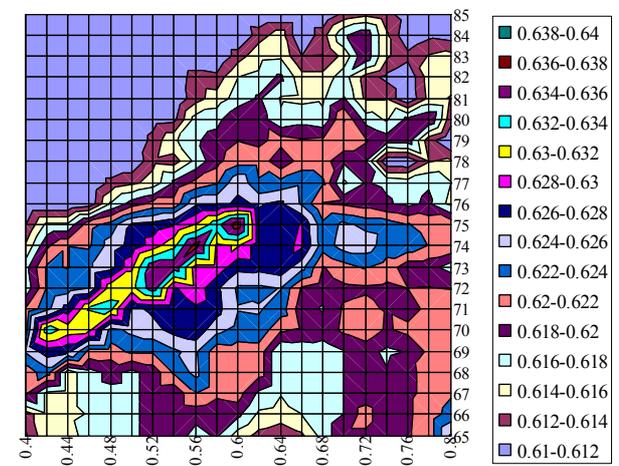


図 5-3-4 Dial 組み込みモデル ($\theta=100.0$)

表 5-3-1 推定結果 (D 値)

θ	D値
0.1	0.62976
0.5	0.63606
1	0.63728
2	0.63764
4	0.63770
6	0.63771
8	0.63734
10	0.63734
15	0.63735
20	0.63734
25	0.63734
30	0.63734
40	0.63734
50	0.63733
75	0.63731
100	0.63730

図や表から理解されるとおり、スケールパラメータに対してほぼ重み付き重複率 (D 値) は比例関係にあり、既存研究と同様、 $\theta \rightarrow \infty$ が推定値と判断される。なお、表 5-3-1 では、 $\theta \rightarrow 15$ で D 値は最大値となっているが、その差は極めて微少であり、十分な精度をもって判断できる範囲にはない。結果として、本データについても、煩雑な Dial アルゴリズムを組み込む意義は認められないと結論づけられよう。

なお、 $\theta \rightarrow \infty$ で Dial 組み込みモデルと重複率最大化モデルの結果は一致するはずであるが、Dial 組み込みモデルの D 値が若干小さい値となっている。これは、598 サンプル中、12 サンプルで同じ経路費用を含むケースがあり、そのリンク選択確率が 1 ではなく、0.5 になっていたことが原因である。

(2)Path Size Dial Logit Model の提案とその検証

「Dial 組み込みモデル」の説明で言及したとおり、Dial のアルゴリズムにおいて、スケールパラメータ(θ)が無限大の場合は、扱われる経路は唯一の最短経路に収束する。さて、逆に $\theta \rightarrow 0$ の場合は、アルゴリズム中の、有効リンクのリンク尤度が全て 1 になり、「全ての有効経路が最短経路」となることが分かる。見かけ上、全ての有効経路の経路長が同じ（最短経路）になるため、これは換言すれば、有効リンクの経路選択確率が「選択枝数の逆数に比例する」ことを表す。まずは、標準的テキストで紹介されている Dial アルゴリズムについて引用する。

Dial のアルゴリズム：

Step 0: (準備)

(a) 起点 r から他の全てのノードへの最小交通費用 $c(i)$ を計算：

$$c(i) \leftarrow C \min[r \rightarrow i] \quad (15)$$

(b) 全リンクについてリンク尤度 $L[i \rightarrow j]$ を計算：

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp\{\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\}\} & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

Step 1: (前進処理)

起点 r から $c(i)$ の値の昇順 (r から近い順) にノードを考える。各ノード i から流出するリンクのリンク・ウェイト $W[i \rightarrow j]$ を次式により計算：

$$W[i \rightarrow j] = \begin{cases} L[i \rightarrow j] & \text{for } i = r \\ L[i \rightarrow j] \sum_{m \in I_i} W[m \rightarrow i] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

なお、 I_i はノード i に流入するリンクの始点集合である。

Step 2: (後退処理)

$c(j)$ の値の降順 (r から遠い順) にノードを考える。各ノード j に流入するリンクの交通量 x_{ij} を次式で計算。

$$x_{ij} = \left(Q_{rj} + \sum_{m \in O_j} x_{jm} \right) \frac{W[i \rightarrow j]}{\sum_{m \in I_j} W[m \rightarrow j]} \quad (18)$$

なお、 O_j はノード j に流出するリンクの終点集合を表す。

このアルゴリズムのリンク尤度 $L[i \rightarrow j]$ が 1 となる場合、 i から j にいたるリンクを最短経路が通過することになる。前述した、 $\theta \rightarrow 0$ においては、Dial アルゴリズムで限定された経路 (式(16)で $c(i) < c(j)$ を満たすリンクを連ねる経路) ですべてのリンク尤度が 1 になるため、それら経路が等しく最短経路となる。そのため、(17)式の前進処理は、起点から有効リンクを通過する選択枝数を順次計算するプロセスとなる。結果として、(18)式の後退処理で、経路選択枝数の逆数に、当該リンクを通過する経路数を乗じた確率が推計されていることになる。また、同時に、前進処理において着ノードのリンク・ウェイト値は ij 間の経路選択枝の総数に等しくなる³。

³ これは遠藤弘太郎氏 (株)ライテック) の指摘による。

本研究で用いている 598 サンプルについて、今、どの程度の経路選択枝数が存在するかを、 $\theta \rightarrow 0$ において算出することを試みる。経路選択枝の総数は、前述の前進処理におけるリンク・ウェイト値である。結果として、図 5-3-5 を得た。横軸にサンプル走行経路が通過したリンク総数を、縦軸に選択枝数の常用対数をとっている。リンク数が多くなる、すなわち OD 間距離が長いほど、選択枝数が指数関数的に多くなることが分かる。

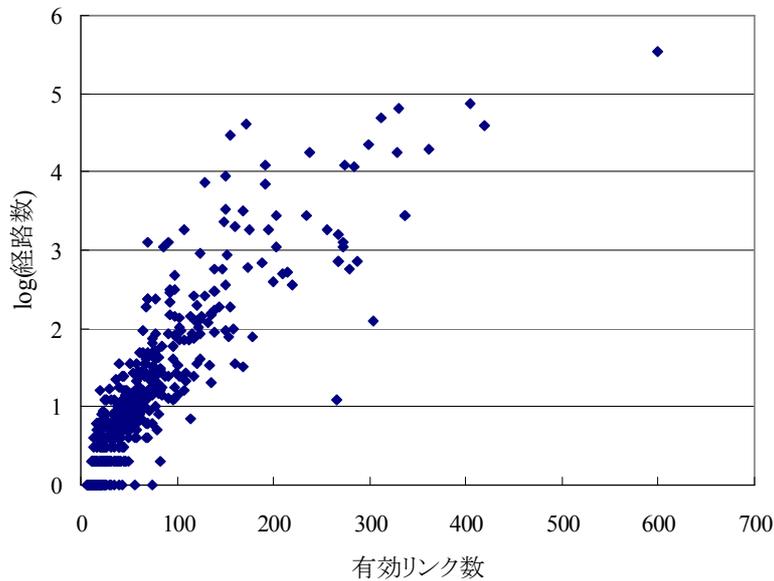
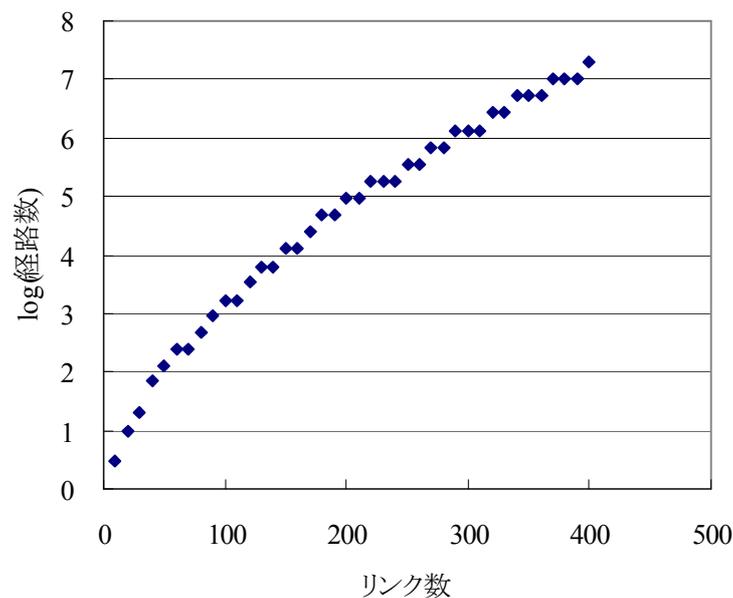


図 5-3-5 分析データの Dial アルゴリズムにおける選択枝数

ちなみに、 $n \times n$ の基盤目上の道路ネットワークを考え、その対角線ノード間の選択枝数 (K) を算出することを考える。 $n=1$ では $K=2$ 、 $n=2$ では $K=6$ であり、その選択枝数の一般式は

$${}_{2n}C_n = \frac{2n!}{n! \times n!} \quad (\text{a.1})$$

[参考] 基盤目都市のケース



となる。例えば、 $n=10$ で $K=184,756$ であり、 n の増加に伴い選択枝数が爆発的に増大することが分かる。参考までに、基盤目上都市のリンク長（リンク単位長を 1 としたため、「リンク数」に等しい）と、選択枝数の関係を下記に掲げる。図 5-3-5 と同様の関係が確認できよう。

分析データで算出された経路数について、莫大な数となった例を図 5-3-6,7 に示す。

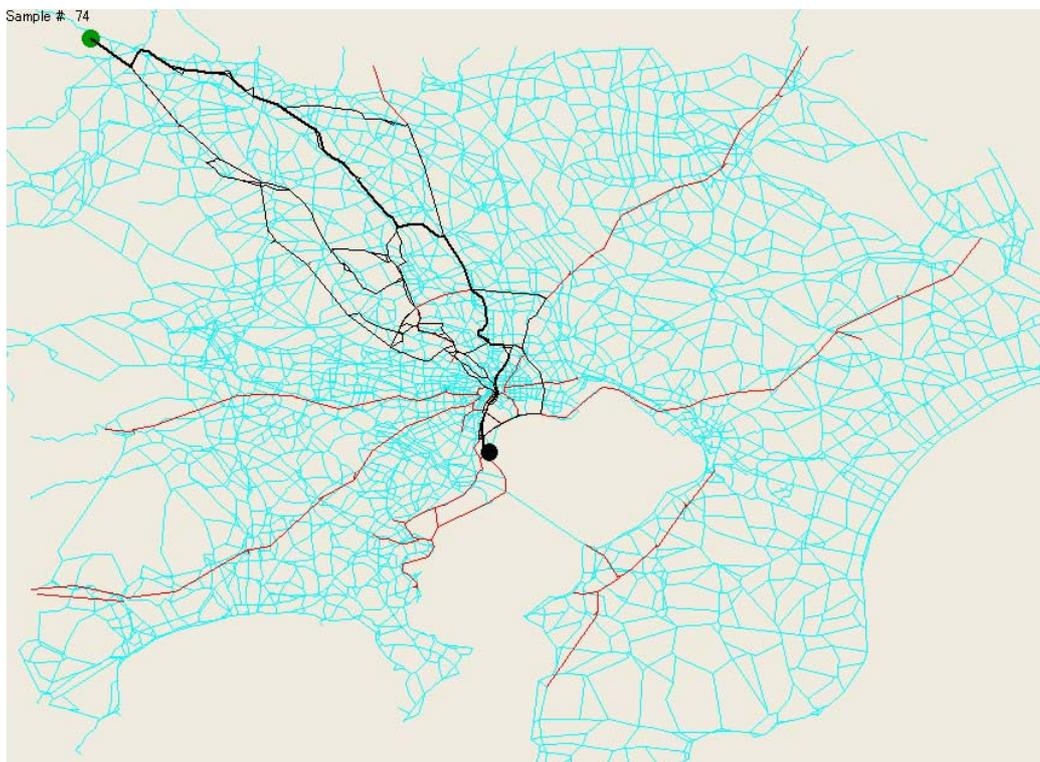


図 5-3-6 経路数が莫大なケース（経路数=337,618）（赤線は高速道路）

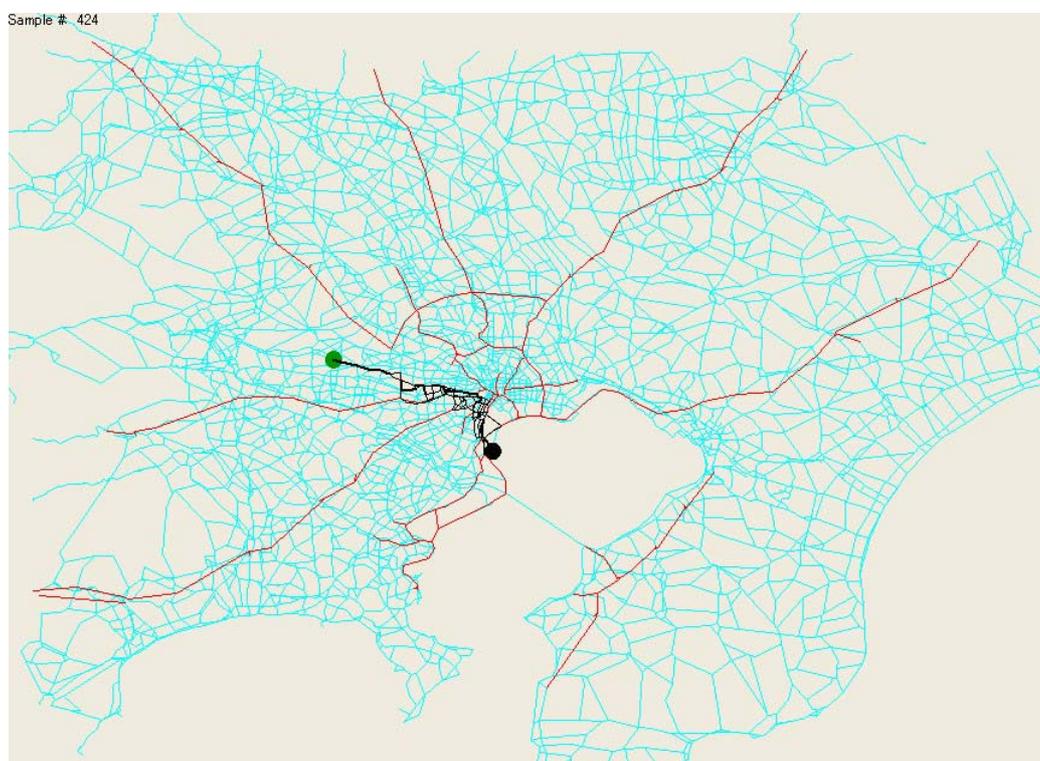


図 5-3-7 経路数が莫大なケース（経路数= 19,540）（赤線は高速道路）

ここまでで、Dial アルゴリズムのスケールパラメータを操作することにより、各リンクを通過する選択枝数を算出することが可能であることを述べた。また、「Dial 組み込み重複率最大化モデル」の結果は、 $\theta \rightarrow \infty$ である、重複率最大化モデル結果と同様であることも確認された。しかし、Dial アルゴリズムの欠点の一つとして、5.2 で検討した経路重複問題が克服されず、重複が多い経路とそうでない経路間で同様の確率を与えることが指摘されてきた。5.2 で扱った Path Size モデルは、Dial アルゴリズムでその等価性が証明されている Logit モデルに補正項を加えた簡便な方法で経路重複問題を緩和している。もし、同様の補正項を Dial のアルゴリズムを工夫することにより導入可能であれば、「Dial 組み込みモデル」の欠点を補うことが可能であり、推定結果の改善も期待される。そこで、ここでは、Dial のアルゴリズムの若干の改良で、Path Size 項が補正項として利用可能となる方法論を提案する。

予備的に、Dial のアルゴリズムと Logit モデルとの等価性の簡便な証明を標準的テキストから以下の通り転記する。

OD ペア rs の k 番目経路が $r \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow \dots \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow s$ であるとき、この経路が選択される確率 P_k は、Dial アルゴリズムの Step 2 の操作から、以下の式となる。

$$P_k = \frac{W[Z \rightarrow s]}{\sum_m W[m \rightarrow s]} \cdot \frac{W[Y \rightarrow Z]}{\sum_m W[m \rightarrow Z]} \cdots \frac{W[A \rightarrow B]}{\sum_m W[m \rightarrow B]} \cdot \frac{W[r \rightarrow A]}{\sum_m W[m \rightarrow A]} \quad (19)$$

ここで、リンク・ウェイトの定義 (Step 1) より、

$$W[i \rightarrow j] = L[i \rightarrow j] \sum_m W[m \rightarrow i] \quad (20)$$

であるので、(19)式の右辺は各項の分子とその1つ右の項の分母のリンク・ウェイトが相殺され、

$$P_k = \frac{L[Z \rightarrow s]L[Y \rightarrow Z] \cdots L[A \rightarrow B]L[r \rightarrow A]}{\sum_m W[m \rightarrow s]} \quad (21)$$

となり、さらにこの式の分子は、リンク尤度の定義 (Step 0) を代入することにより、

$$\begin{aligned} & L[Z \rightarrow s]L[Y \rightarrow Z] \cdots L[A \rightarrow B]L[r \rightarrow A] \\ &= \exp[\theta\{c(s) - c(Z) - t_{Zs}\}] \exp[\theta\{c(Z) - c(Y) - t_{YZ}\}] \\ & \quad \cdots \exp[\theta\{c(B) - c(A) - t_{AB}\}] \exp[\theta\{c(A) - c(r) - t_{rA}\}] \\ &= \exp[\theta\{c(s) - (t_{rA} + t_{AB} + \cdots + t_{YZ} + t_{Zs})\}] \\ &= \exp[\theta\{c(s) - c_k\}] \end{aligned} \quad (22)$$

となるので、

$$P_k = \frac{\exp[\theta\{c(s) - c_k\}]}{\sum_m W[m \rightarrow s]} \quad (23)$$

が得られる。ここで、 c_k は k 番目経路の費用である。経路間の選択確率の総和が 1 になる、すなわち、

$$\sum_k P_k = 1 \quad (24)$$

を考え、(24)式を(23)式に代入することにより、

$$\frac{\exp[\theta c(s)]}{\sum_m W[m \rightarrow s]} = \frac{1}{\sum_{k'} \exp[-\theta c_{k'}]} \quad (25)$$

を得る。(25)式の左辺を(23)式に代入すれば、

$$P_k = \frac{\exp[-\theta c_k]}{\sum_{k'} \exp[-\theta c_{k'}]} \quad (26)$$

なる Logit 型の経路選択モデルが導かれる。

さて、ここで、Path Size モデルについて再考してみよう。Path Size モデルの効用補正項は、次式であり、この値で効用を $V_i^* = V_i + \beta_{PS} \times \ln(\text{PS}_i)$ と補正する方法であった。

$$\text{PS}_i = \sum_{a \in \Gamma_i} \left(\frac{l_a}{L_i} \right) \frac{1}{\sum_{j \in C} \delta_{aj}} \quad (9)$$

この補正の考え方は以下の通りである。

- ①リンクを通過する選択枝の数を、「選択枝集計 (Aggregation of Alternatives)数」とみなす。それ故、見かけ上のリンク a の効用は、「平均的経路選択効用×リンク通過選択枝数」となる。
- ②顕在化する（見かけ上の）効用は、 $V_a^* = V_a + (1/\mu) \times \ln[M_a]$ となり、 $(1/\mu) \times \ln[M_a]$ だけ過大になってしまう。ここで M_a はリンク a の経路選択枝数、 μ は効用の分散パラメータである。
- ③過大推計される効用を補正するためには、原因となる選択枝集計項を減じた補正を行えばよい。故に、補正された効用項は $V_a^* = V_a - (1/\mu) \times \ln[M_a]$ であり、補正項として、 $+(1/\mu) \times \ln[1/M_a]$ を用いればよい。
- ④リンクの連なる経路を考えれば、「平均的な経路に含まれる重複選択枝数」を算定し、同様に経路効用を定義すれば、(9)式で与えられる、リンク長の重みのついた ad hoc な平均重複選択枝数の逆数が補正項とみなせる。

要は、経路の平均的な重複経路数を PS 項 (9)式) で定義し、それを各経路の補正項とする考え方に基づく。

さて、もともとリンク別で重複する経路選択枝数を用いた補正を行うのが Path Size モデルの考え方であり、Dial アルゴリズムの工夫でリンク別選択枝数が判明している現段階では、同様の考えを適用するのに困難はない。そこで、以下の推定アルゴリズムを考える。なお、サンプルを表すサフィックス n は省略する。

Path Size を考慮した Dial のアルゴリズム (Path Size Dial Logit モデルアルゴリズム)

Step A: (リンク別の選択枝数の算定)

まず、 $\theta \rightarrow 0$ において、前述の Dial アルゴリズムの Step 0~2 を実行する。すなわち、有効リンク（ノード ij 間リンク）選択確率 q_{ij} を算出する。このとき、着ノードへのリンク・ウェイト関数値が経路選択枝の総数となっているので、それを M とする。確率 q_{ij} は、「総選択枝数の逆数×リンク経過経路数」になっている。これより、リンクを通過する経路数は $M \cdot q_{ij}$ となる。同時に、OD 間の最短認識距離 L^{\min} を記憶しておく。

Step B: (Path Size 補正項の導入)

再び Dial アルゴリズムでリンクの選択確率を推計するが、その際、リンク尤度に以下の Path Size に関する補正項を加える。

$$PS_{ij} = \frac{L_{ij}}{L^{\min}} \ln \left[\frac{1}{M \cdot q_{ij}} \right] \quad (27)$$

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\} + \beta_{PS} PS_{ij}] & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

あとは、同様に Dial アルゴリズムに従ってリンク選択確率を計算すればよい。

さて、このアルゴリズムは、リンク単位で重複経路数に応じた補正を行うことになるが、通常の Dial アルゴリズムと同様、この補正項を含んだ等価な Logit モデルを導くことができる。先に示した式を用いれば、

$$\begin{aligned} & L[Z \rightarrow s]L[Y \rightarrow Z] \cdots L[A \rightarrow B]L[r \rightarrow A] \\ &= \exp[\theta\{c(s) - c(Z) - t_{Zs}\} + \beta_{PS} PS_{Zs}] \exp[\theta\{c(Z) - c(Y) - t_{YZ}\} + \beta_{PS} PS_{YZ}] \\ & \quad \cdots \exp[\theta\{c(B) - c(A) - t_{AB}\} + \beta_{PS} PS_{AB}] \exp[\theta\{c(A) - c(r) - t_{rA}\} + \beta_{PS} PS_{rA}] \quad (29) \\ &= \exp[\theta\{c(s) - (t_{rA} + t_{AB} + \cdots + t_{YZ} + t_{Zs})\} + \beta_{PS} (PS_{rA} + \cdots + PS_{Zs})] \\ &= \exp[\theta\{c(s) - c_k\} + \beta_{PS} PS_k] \end{aligned}$$

であり、これより(23)~(25)式同様の展開から、

$$P_k = \frac{\exp[-\theta c_k + \beta_{PS} PS_k]}{\sum_{k'} \exp[-\theta c_{k'} + \beta_{PS} PS_{k'}]} \quad (30)$$

を得る。なお、(29)(30)式中の、 PS_k は、5.2 の表記とあわせるならば、

$$PS_k = \sum_{a \in \Gamma_k} \frac{L_a}{L^{\min}} \times \ln \left[\frac{1}{M \cdot q_a} \right] \quad (31)$$

である。これは 5.2 で用いた Path Size モデルの補正項 ((9)式) と類似した式形であるが、若干の相違がある。まず第 1 に、 k 番目経路長が用いられておらず、その代わりに最短認識距離が用いられている。第 2 に、PS モデルが選択枝数の逆数にリンク重みを乗じた結果を対数化しているのに対して、(31)式では先に対数化し、それにリンク重みを乗じている。後者の不一致は、Dial アルゴリズムの手順に原因があり、その改善方法は見いだせなかった。しかし、前者については、もともと有効経路を限定している Dial アルゴリズムにおいて、長短に大きな違いのある経路は選ばれにくいことから、最短認識距離を代表値とすることに大きな問題はないとここでは判断する。後者についても、その算出値の傾向は、対数化の順序に関わらず同様であることが想定されるし、もともとの Path Size 補正項の対数化の手順に厳密な背景理論がある訳ではなく、両者の式の不一致について議論することに特段の意味は見いだせないと思われる。

ちなみに、本 Path Size Dial Logit アルゴリズムでは、「Dial 組み込み重複率最大化モデル」に比して、 $\theta \rightarrow 0$ に対応した Dial アルゴリズム計算が追加されることになるので、計算時間は概ね、「Dial アルゴ

リズムにかかる時間×2」となる⁴。

本モデルを同様に大型貨物車走行データに適用した結果を以下に示す。まず、スケールパラメータ(θ)であるが、経験的に、確率均衡モデルでは、 $\theta = 10 \sim 100$ [1/hour]程度であることが知られている。本分析では所要時間ではなく、一般化費用を用いている。3章で確認したとおり、598 サンプルの平均走行距離は約 30Km で平均所要時間が約 60 分、時間価値パラメータは 75 [円/分] なので、平均的な一般化費用は 6,000 円程度であろう。都市圏交通ネットワーク分析で扱われる事例の平均所要時間を 1 時間程度とすれば、一般化費用を用いる本分析では、 $\theta = 0.002 \sim 0.02$ [1/yen] のオーダーと想像される。そこで、 θ は、0.001 から約 1 まで変化させ、5.3(1)と同じ「時間価値」と「重さ指定道路」の 2 変数モデルを、PS 項にかかる β_{PS} を変化させながら推定した。

図 5-3-8 が推定結果の一例である。 θ は 0.001 から 1.024 まで 6 段階に、Path Size パラメータは 0 から 12 まで 7 段階に変化させ、重複率 D 値を推計した。

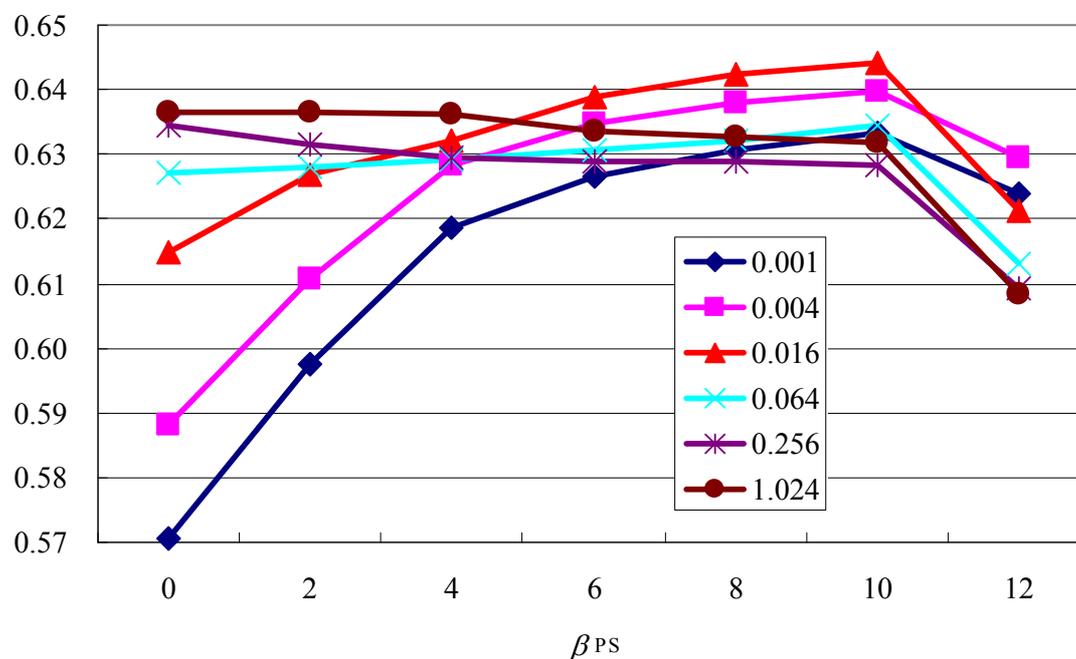


図 5-3-8 θ 値別の β_{PS} と D 値との関係

結果より、PS 項を導入することにより、「重複率最大化モデル」（この場合は $\theta=1.024$ に相当）以上の D 値が得られるケースが確認できる。例えば、 $\theta=0.016$ 、 $\beta_{PS}=10$ で重複率は 0.64414 で、5.3(1)で示された 0.63735 を上回った。 θ の大きさ別に見ると、 θ が大きい場合は、PS 項は効果を発揮しないが、 θ が小さいケース、すなわち代替経路が大きくばらつく場合は、十分説明力向上に寄与する。また、 β_{PS} が 10 程度で重複率は最大となり、適切な PS 項パラメータが存在することが確認できた。

さらに、最大の D 値を与えるパラメータを詳細に同定するため、パラメータ変化範囲を狭めた結果を図 5-3-9 に示す。PS 項パラメータが 10 を超えると D 値が急激に減少する（10.3 以上で急激に変化していた）こと、および、 θ は 0.015~0.020 と推定されることが見てとれよう。

⁴ 計算時間に関する議論は確率的均衡配分計算についても同じ関係にある。

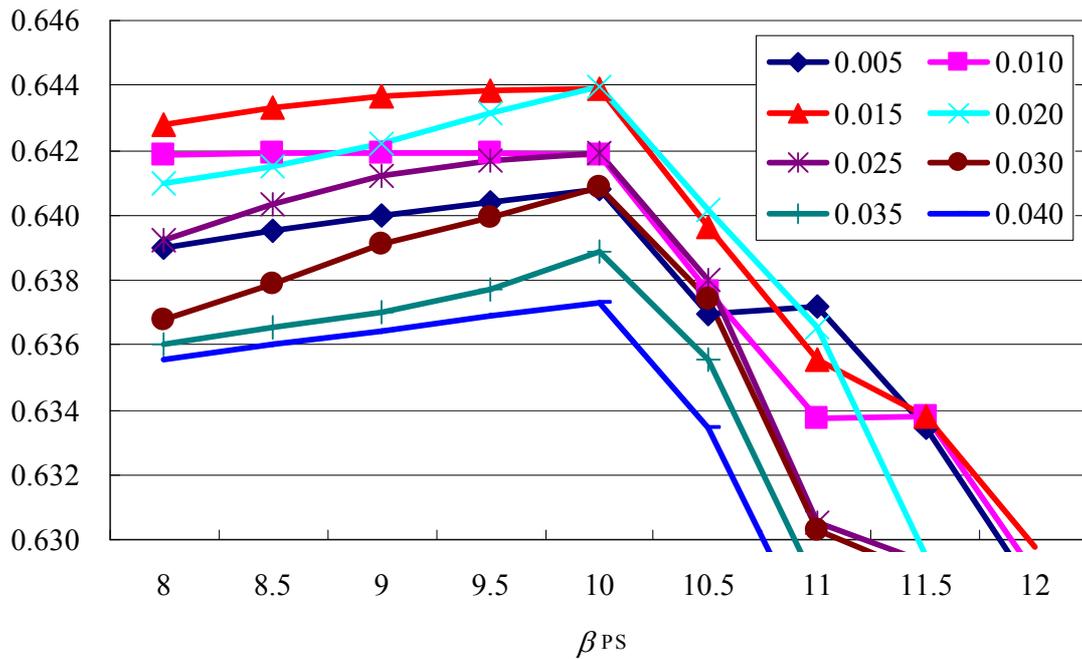


図 5-3-9 θ 値別の β_{PS} と D 値との関係 (詳細)

以上の検討では、(31)式において、「最短認識経路を各経路長の代表値」としていた。しかし、あるリンクを通過する経路選択枝数が少なくなるほど、一般的には（遠回りするため）その経路長は長くなる傾向にあり、結果として(31)式の分子経路長も大きくなる傾向となる。(31)式が経路長に比例した値となると、それにかかるパラメータに対しては負の効果をもたらす。その結果として、 β_{PS} が過小推定される可能性も否定できない。これを解決するためには、(31)式を改良し、Logit モデル式において ((30)式)、経路別 PS 値が経路長と無相関となる方法を考案する必要がある。

ここでは厳密な解決方法ではないが、以下の手順を試みた。

Path Size を考慮した Dial のアルゴリズム：経路長補正版

Step A: (リンク別の選択枝数の算定)

まず、 $\theta \rightarrow 0$ において、前述の Dial アルゴリズムの Step 0~2 を実行する。すなわち、有効リンク（ノード ij 間リンク）選択確率 q_{ij} を算出する。これより、リンクを通過する経路選択枝数は $M \cdot q_{ij}$ となる。同時に、OD 間の最短認識距離 L^{\min} を記憶しておく。

Step A': (平均経路選択確率算出の予備計算)

θ に適切な値（ここでは $\theta=0.001$ とした）を設定し、再び Dial アルゴリズムの Step 0~2 を実行する。ここで得られた有効リンクの選択確率を q_{ij}^* とする。同時に、以下の最短認識距離経路選択確率を算出しておく。

$$P^{\min} = \max_{ij \in C^*} [q_{ij}^*] \quad (33)$$

この計算では、「最短認識経路上のリンクで少なくとも一箇所は経過経路数が 1 となるリンクが存在する」ことを仮定している。

Step B: (Path Size 補正項の導入)

リンク ij を通過する k 番目経路の平均経路選択確率を以下の通り仮定する。

$$\bar{P}_{k|ij} = \frac{q_{ij}^*}{M \cdot q_{ij}} \quad (34)$$

これは、リンク ij の選択確率を、通過経路数で除することに相当する。すると、認識距離に関する Logit モデル式から、

$$\frac{P_k}{P^{\min}} = \exp[-\theta(L_k - L^{\min})] \quad (35)$$

とおくことができる。ここで自然数 m は相殺される。さらに、経路長の長さの比は

$$\frac{L_k}{L^{\min}} = \frac{L^{\min} - \frac{1}{\theta} \cdot \ln\left(\frac{P_k}{P^{\min}}\right)}{L^{\min}} \quad (36)$$

となる。ここで $P_k \cong \bar{P}_{k|ij}$ を仮定すれば、各リンクで経路長の長短の補正が行えることになり、結果として、リンク尤度の Path Size 補正項は以下の通りとなる。

$$PS_{ij} = \frac{L_{ij}}{L^{\min}} \ln\left[\frac{1}{M \cdot q_{ij}}\right] \times \frac{L^{\min}}{L^{\min} - \frac{1}{\theta} \cdot \ln\left(\frac{\bar{P}_{k|ij}}{P^{\min}}\right)} = \frac{L_{ij} \ln\left[\frac{1}{M \cdot q_{ij}}\right]}{L^{\min} - \frac{1}{\theta} \cdot \ln\left(\frac{\bar{P}_{k|ij}}{P^{\min}}\right)} \quad (37)$$

同様にリンク尤度の補正を行う。

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp[\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\} + \beta_{PS} PS_{ij}] & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28)$$

あとは、同様に Dial アルゴリズムに従ってリンク選択確率を計算すればよい。

このアルゴリズムを用いた計算結果を図 5-3-10 に示す。認識距離パラメータは同じ値を用いている。図より、経路長の補正を施すことにより、 β_{PS} が 14 以上のエリアで、 θ が 0.016 の場合、重複率最大化モデル結果を上回る D 値を示している。しかし、PS 項がない場合の D 値 ($\beta_{PS} = 0$) を超えることはなかった。原因として、提案した式に含まれる幾つかの近似仮定に問題があると思われる。

しかし、このような工夫は提案した Path Size Dial Logit の PS 項の効果を専ら重複処理に限定するためには不可欠であると考えられる。なぜならば、前述したとおり、経路長の長短が一情報として PS 項に含まれてしまうと、例え大きな D 値が得られたとしても、それが重複処理効果と断定できないためである。今後も、同様の検討を進める必要性が高い。

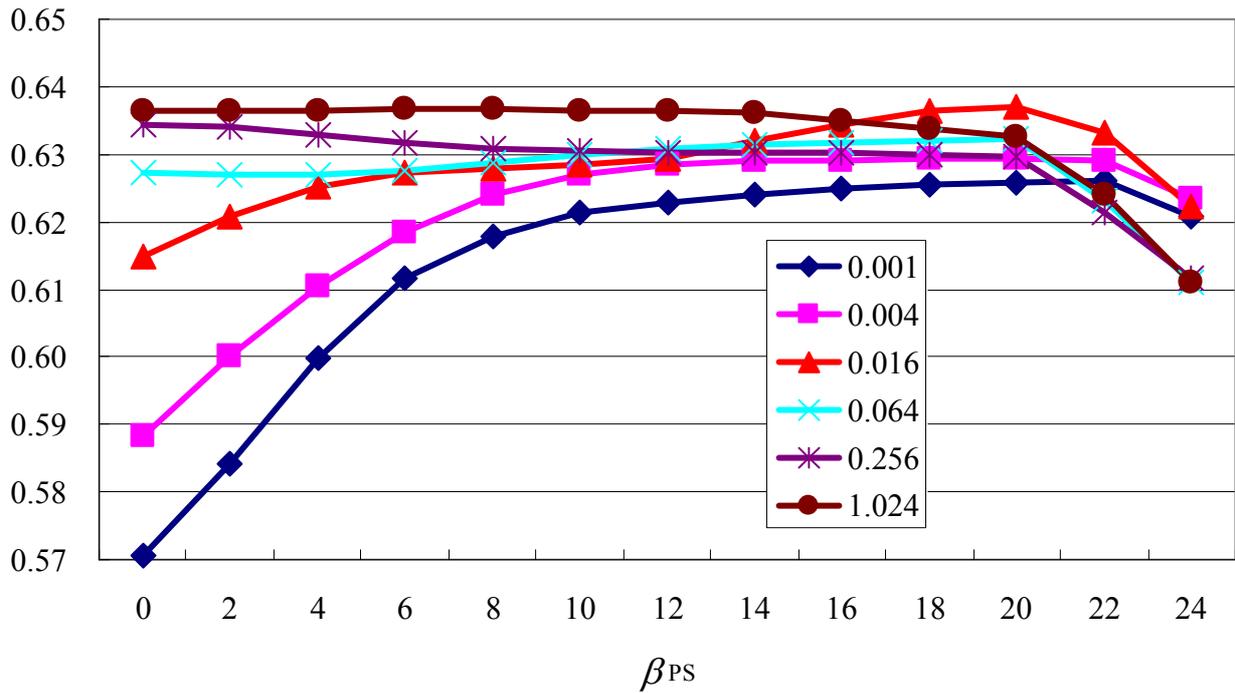


図 5-3-10 θ 値別の β_{PS} と D 値との関係（リンク距離修正を行ったケース）

本節では、Dial 組み込み重複率最大化モデルに Path Size 項を加え、重複補正を行う方法論を提示した。実証検討により、PS 項が説明力向上に寄与し得ることが確認できた。効率的なパラメータ推定方法の開発が困難な現段階では、計算の煩雑さを考えれば、通常の実用上は十分対応可能と思われる。しかし、従来克服されていなかった Dial アルゴリズムの重複経路問題の解決の糸口を見いだしたことは、本研究で検討対象とした経路選択モデルに止まらない成果と見なせる。すなわち、広く用いられている Dial アルゴリズムを用いた確率均衡配分（いわゆる STOCH）においても、提案した Path Size Dial Logit アルゴリズムは導入可能であり、重複経路問題を緩和した配分手法として、モデル精度の向上に寄与し得る可能性がある。これら配分手法への適用は、本研究の範囲外となるので、後日継続的に検討を行うこととする。

6. おわりに

本研究では東京都市圏物資流動調査の関連調査をもとに、大型車経路特性を考慮した道路ネットワーク評価に資するモデル方法論を検討した。実際に東京都市圏物資流動調査の最終成果に取り込まれたことから分かるとおり、実用上は、操作性が高く、モデル推定結果の妥当性も検証されていることから、重複率最大化モデルで必要十分な結果が得られると判断できる。

また、関連する各種の方法論の検討を進めた結果、経路重複処理による推計精度の向上が期待される Path Size Dial Logit モデルなど、他の方法論の適用可能性についても吟味することができた。本研究で扱ったモデルの関連性をまとめると図 6-1 の通りになる。

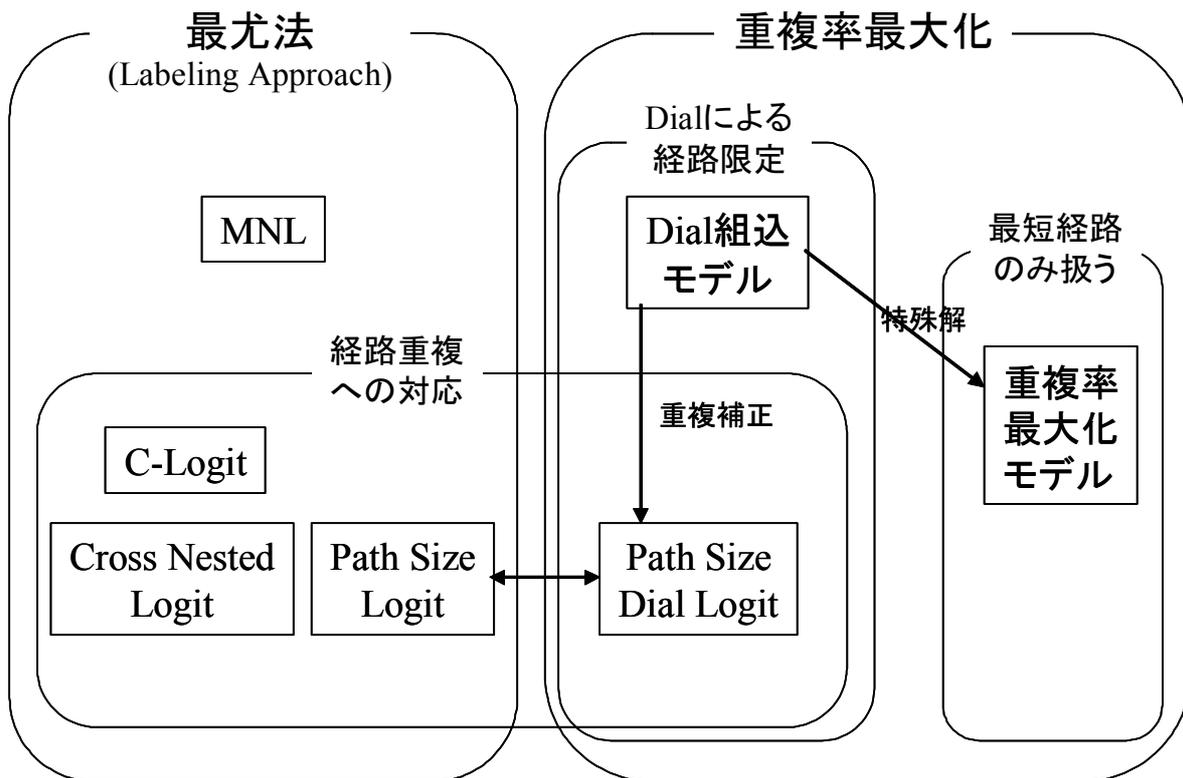


図 6-1 本研究で扱ったモデルの関連性

この図の範囲外で未検討ながら、例えば k 番目最短経路を用いた経路選択モデルや、重複処理を構造化 Probit モデル、または Mixed Logit モデルで行う方法もあり得る。時間の関係上、ここでは扱わなかったが、機会があれば検討したいと思っている。

なお、本稿ドラフトの Peer Review に応じて頂き、重要な誤り等についてご指摘下さった遠藤弘太郎氏 (株ライテック) に感謝の意を表する次第である。

<参考文献>

- 1) Bekhor, S. and Prashker, J.N. (2001): "Stochastic User Equilibrium Formulation for Generalized Nested Logit Model", TRR 1752, pp.84-90
- 2) Bekhor, S. and Toledo, T. (2005): "Investigating Path-based Solution Algorithms to the Stochastic User Equilibrium Problem", Transportation Research Record B, Vol.39, pp.279-295
- 3) Ben-Akiva, M., Bergman, M.J., Daly, A.J. and Ramaswamy, R. (1984): "Modeling Inter Urban Route Choice Behavior", in *Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, pp.299-330, VNU Press
- 4) Ben-Akiva, M. and Bierlaire, M. (1999): "Discrete Choice Methods and Their Applications to Short Term Travel Decisions" in *Handbook of Transportation Science*, pp.5-33, Dordrecht Kluwer
- 5) Bierlaire, M. and Frejinger, E. (2005): "Route Choice Models with Subpath Components", the 5th Swiss Transport Research Conference
- 6) Bovy, P.H. and Stern, E. (1990): *Route Choice: Wayfinding in Transport Networks*, Kluwer Academic Publishers
- 7) Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F. and VITETTA, A. (1996): "A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problems: Specification and Some Calibration Results for Interurban Networks" in *Proceedings of the International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Lyon, pp.697-711
- 8) Hyodo, T., Suzuki, N. and Takahashi, K. (2000): "Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan", TRR 1705, pp.70-76
- 9) Muromachi, Y. (2003): "Inter-Relationship between Route and Parking Location Choice Behavior in Downtown", *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.5, pp.1476-1486
- 10) Prashker, J.N. and Bekhor, S. (1998): "Investigation of Stochastic Network Loading Procedures", TRR 1645, pp.94-102
- 11) Prashker, J.N. and Bekhor, S. (1999): "Stochastic User-Equilibrium Formulations for Extended-Logit Assignment Models", TRR 1676, pp.145-152
- 12) Prashker, J.N. and Bekhor, S. (2000): "Congestion, Stochastic, and Similarity Effects in Stochastic User-Equilibrium Models", TRR 1733, pp.80-87
- 13) Prashker, J.N. and Bekhor, S. (2004): "Route Choice Models Used in the Stochastic User Equilibrium Problem: A Review", *Transport Review*, Vol.24, No.4, pp.437-463
- 14) Rammings, M.S. (2002): "Network Knowledge and Route Choice", Ph.D. Thesis at MIT
- 15) Vovsha, P. and Bekhor, S. (1998): "Link-Nested Logit Model of Route Choice: Overcoming Route Overlapping Problem", TRR 1645, pp.133-142
- 16) 笹井・兵藤・鈴木・高橋 (2004): "自転車経路選択モデルの比較検討分析", *土木計画学研究・論文集*, Vol.21, No.2, pp.597-606
- 17) 柴崎(2005): "国際海上コンテナの国内輸送ネットワークにおける通行上の制約に関する分析と解消効果の試算", *運輸政策研究*, 7(4), pp. 15-26
- 18) 柴崎(2005): "港湾地域および背後圏における国際海上コンテナ用セミトレーラ連結車の流動状況の推察", *高速道路と自動車*, 48(6), pp.20-31
- 19) 鈴木・高橋・兵藤 (1998): "自転車走行環境に着目した鉄道端末自転車需要予測方法の提案", *交通工学*, Vol.33, No.5, pp.13-21
- 20) 羽藤 (2002): "ネットワーク上の交通行動", *土木計画学研究・論文集*, Vol. 19, No. 1, pp. 13-27
- 21) 日比野・兵藤・内山 (2004): "高密度な鉄道ネットワークへの実適用に向けた非 IIA 型経路選択モデルの特性分析—改良型 C-Logit モデルの提案—", *土木学会論文集*, No.765, IV-64, pp.131-142
- 22) 兵藤・室町 (2001): "個人選択行動モデルの最近の開発動向に関するレビュー", *土木計画学研究・論文集*, Vol.18, No.3, pp.517-522
- 23) 土木学会 土木計画学研究委員会 「交通ネットワーク」出版小委員会編(1998): *交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法*