

くり返し走行実験による自動車運転者の経路選択機構とその変容に関する研究*

Analysis on Car Drivers' Way-Finding Mechanism and its Change

by Continuous Car-Driving Experiment*

久保田尚**、福山 剛男***、坂本 邦宏****

By Hisashi KUBOTA, Takeo FUKUYAMA and Kunihiro SAKAMOTO

1. はじめに

過去において、自動車の経路選択問題は工学的には必ずしも大きな関心の的ではなかった。車線数をアウトプットとする計算過程においては、例えば容量制限つき分割配分法のような簡便な手法でも精度的に十分であり、経路選択のメカニズムにまで踏みこむ必要性が必ずしもなかったためである。

しかしながら、TDMなどの短期施策や地区交通計画、さらにITSなどが重要性を獲得するに従い、4段階推定法の最終段階を、いわば「神の手」による交通量の各経路への割り当て（配分）から、行動モデルとしての経路交通モデルへと置き換えるニーズが高まっている。

その際、自動車運転者の経路選択機構の解明が必要となる。いうまでもなく、経路選択のメカニズムはきわめて複雑であり、単純な数学モデルだけで表現しきれないという見こみも立っていない。

本研究は、以上の問題意識に立つて筆者らが従来進めてきた研究¹⁾²⁾³⁾の延長として、長期にわたるくり返し走行実験という手法を用いることにより、個々の運転者がどのように経路の選択肢を獲得し、さらにその中からどのように経路を選択するか、というメカニズムを解明するための基礎的知見を得ることを目的とする。

2. 既存研究の検討と本研究の位置付け

経路選択メカニズムそのものの解明に取り組んだ既存研究としては、室内実験による宇野らの研究⁴⁾がある。室内実験の利点を活かして経路選択の長期的変容過程を解明するという成果を上げているが、複雑な環境下の実走行時での有効性は確認されていない。一方、日常的ドライバーにアンケート形式で経路の選択状況を尋ねる方式による研究は比較的多く⁵⁾、個人が認知している経路数が一般的には極めて限られること、等の知見が得られている。

* 経路選択、交通行動分析

** 正会員 工学博士 埼玉大学工学部建設工学科助教授
埼玉県浦和市下大久保 255

TEL/FAX 048-855-7833

*** 正会員 工学修士 株式会社奥村組
東京都中央区月島 1-3-2

TEL 03-3534-1454 FAX 03-3534-9516

**** 正会員 工学修士 埼玉大学工学部建設工学科助手
埼玉県浦和市下大久保 255
TEL/FAX 048-855-7833

実際の市街地における経路選択の実験的研究は、認知心理学や建築の分野で歩行者を対象にして極めて一般的に行われているが、自動車を対象にした研究については、実験実施上の困難さなどもあってかきわめて限られており³⁾、今後の発展の余地が多く残されている。

経路の発見及び選択のメカニズムを解明するためには、走行経験のない状態から同じOD間を何度も走行させ、その経過を追跡するような実験を行うのが最も目的に適っている、という認識に立ち、本研究においては長期間に渡るくり返し走行実験を行うこととした。

3. 繰り返し走行実験の概要

走行実験は、被験者（自動車運転者）の運転経験のない地域において行なった。また、走行条件としては、時間的要因に限らず、安全性や運転のしやすさなどを運転者が個々に判断した上で、「最適経路を走行出来るように」ということを前提にした。そして、1日に1回、週に2回～3回の頻度で、出発地～目的地間の往復走行実験を約3ヶ月間にわたり、走行実験をくり返し実施した。

被験者は埼玉大学の学生5人、そのうち3人には地図のみの使用、残りの2人には地図とカーナビゲーション（VICS等の交通情報提供や経路誘導機能なし）が使用可能という条件で走行をしてもらった。また、今回の走行実験では自動車運転者の認知構造を解析する為、被験者には、各回の実験時に、「走行前」、「往路走行後」、「復路走行後」の3回にわたって、OD間を包括する地域の認知地図を描いてもらった。被験者は走行前に認知地図を描くという非日常的な行動をとることになり、走行経路に先入観などが生じる可能性がある。そのため被験者に対して「交通状況などによってあらかじめ設定した走行予定経路を無視し、自由に走行してもよい」ことを

表 1 走行実験における取得データ

	取得データ	内 容
走行前	被験者アンケート	被験者の個人属性、経路選択重視項目等
	走行前アンケート	使用予定経路、期待旅行時間、選択理由等
	認知地図データ	走行前の出発地～目的地までの認知地図
走行中	使用経路データ	実際に使用した経路データ
	プロトコルデータ	使用経路の選択理由、変更理由、思ったこと等
	走行状況データ	車内から見た周りの交通状況の様子
	アイマークデータ	自動車運転者の注視点データ
	実旅行時間データ	実際に要した旅行時間
走行後	走行後アンケート	認知時間、印象に残った交通状況、ランドマーク等
	認知地図データ	走行前の出発地～目的地までの認知地図

説明し、普段の走行を心がけてもらった。また、走行段階による注視挙動の違いについて調査する為、アイマーカーレコーダを装着した走行実験を数回実施した。さらに、走行中の心理状態を直接的に把握するために、インタビューが助手席に同乗し、右左折などの行動のたび毎にその理由などを尋ねるプロトコル調査も実施した。表 1 に、実験時に取得したデータの一覧を示す。

4. 運転行動及び経路選択の変容

(1) 期待旅行時間の変容

自動車運転者の運転行動に影響を与える基礎データとして、運転者が目的地までの時間を期待・予測して求める期待旅行時間がある。本研究では、まず出発前に被験者の期待旅行時間を調査し、走行中は極力実際の経過時間を測定できない実験環境を維持する。目的地に到着後に認知旅行時間を調査し、最後に実際の旅行時間を通知している。実験経路における 5 人の被験者の期待旅行時間の変容を、図 1、図 2 に示す。表 2、表 3 に示す統計値からも、多くの被験者は 10 回程度の走行経験を持つと、往路・復路とも期待旅行時間の変動が少なくなることがわかる。往路については、経験 0 から 5 回程度の走行までは、20 分を超える長い期待旅行時間の予測をするが、数回の走行経験で急激に予測値が安定する。

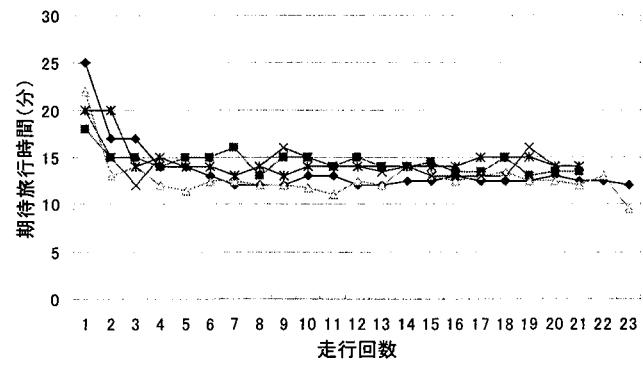


図 1 期待旅行時間の変容（往路）

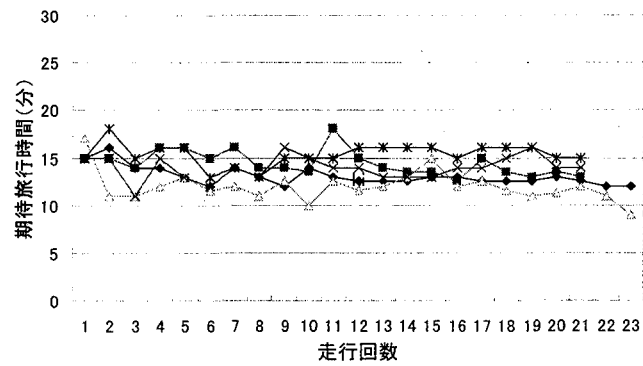


図 2 期待旅行時間の変容（復路）

表 2 期待旅行時間統計値（往路） 単位（分）					
被験者	A	B	C	D	E
平均期待旅行時間	14.7	12.8	13.5	14.4	14.3
9 回目以前の分散平均	6.8	9.5	15.7	1.7	4.6
10 回目以後の分散平均	0.2	1.1	0.1	0.4	0.7
全走行の分散平均	3.0	4.7	7.8	1.2	2.5

表 3 期待旅行時間統計値（復路） 単位（分）					
被験者	A	B	C	D	E
平均期待旅行時間	15.3	12.0	13.1	14.	13.8
9 回目以前の分散平均	1.7	2.8	1.3	1.4	1.9
10 回目以後の分散平均	0.3	2.0	0.1	0.5	2.2
全走行の分散平均	1.1	2.4	1.0	1.8	2.1

これは経験を重ねることで、道路状況の認識と予測が比較的早いうちに安定することを意味する。一方、復路については走行初期段階の過剰な予測が見られない。これは往路走行完了時に実走行時間を知られることと、往路走行時に復路の交通状況を観測していることなどが理由として挙げられる。

(2) 実走行時間の変容

図 3、および図 4 に実際に要した実旅行時間の変容を示す。期待旅行時間と異なり、交通状況や選択経路の影響で長期間（約 3 ヶ月）の走行経験を経ても、ばらつ

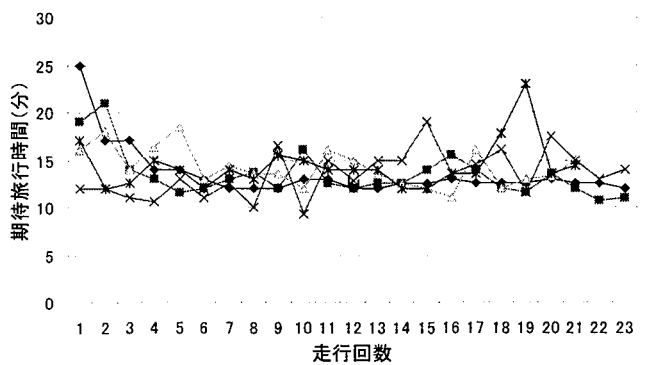


図 3 実旅行時間の変容（往路）

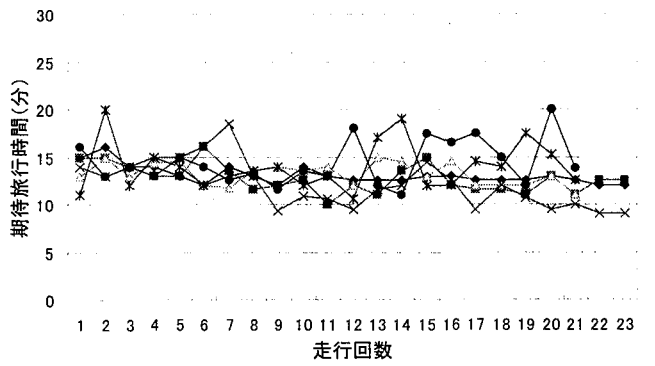


図 4 実旅行時間の変容（復路）

きが大きい（表 4）。また、選択した経路や走行時の交通条件によってある程度のばらつきがでることは、一般常識とも合致する結果となった。しかし実旅行時間の分散が大きいにも関わらず、期待旅行時間が収束傾向に向かっている傾向が明らかになった。これは実旅行時間に多少のばらつきが生じるが、その実旅行時間の平均的な値を過去の経験として、新たに期待旅行時間を設定しているためにこの様な傾向が生じるものと考えられる。

表 4 実旅行走行統計値（往路・復路）
 単位（分）

被験者	A	B	C	D	E
往路・平均実旅行時間	13.9	13.5	13.4	14.1	14.2
往路・全走行の分散	3.7	5.9	5.8	3.8	6.2
往路・平均実旅行時間	14.4	12.1	12.7	13.1	14.0
往路・全走行の分散	5.0	6.4	2.3	1.4	6.0

(3) 使用経路の変容

本実験では被験者は「最適な経路」という価値観で経路を選択しながら走行をするが、最適な経路が具体的になにを意味しているかは流動的である。実験前にアンケート調査という形で、運転に関する意識調査を行ったが、安全第一と回答したドライバーでも激しい渋滞に巻き込まれれば裏道を検索する可能性があるなど、その価値観は運転状況とともに変化する。しかし本実験では3ヶ月の実験期間内で特徴的な経路使用の変容が観察された。

第一に、経験が少ない初期段階の走行においては、図 5 に示すような「直線的」な「わかりやすい」経路

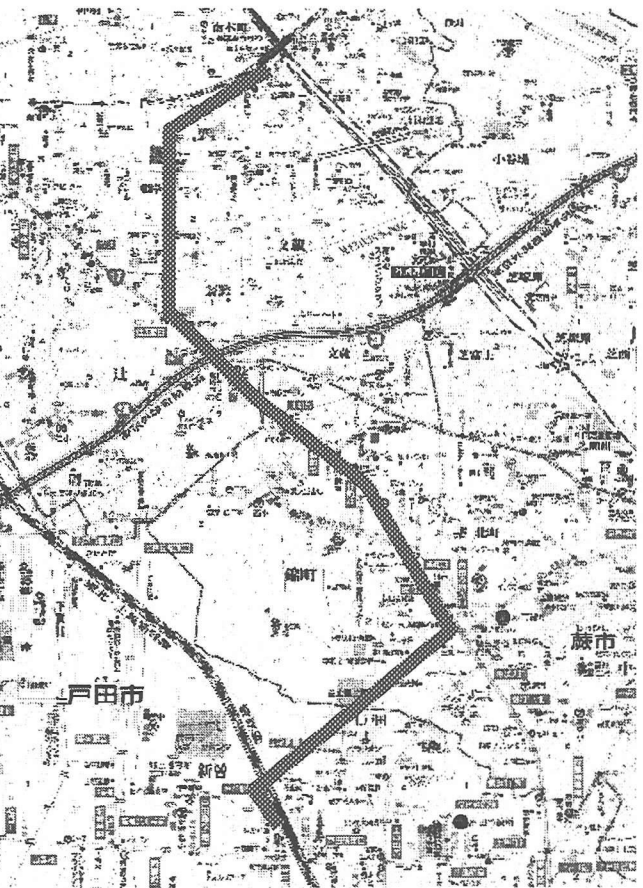


図 5 初期段階の経路（全員一致）

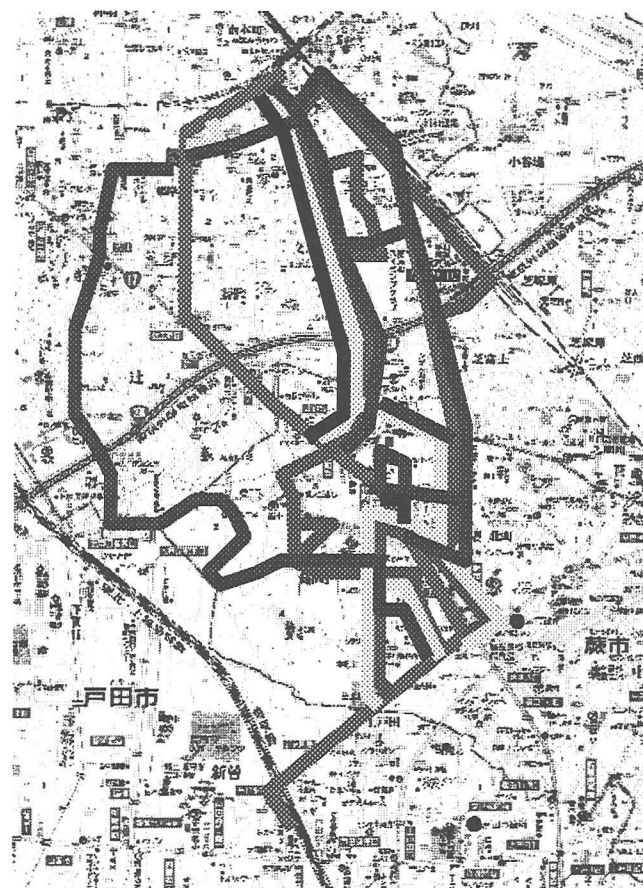


図 6 模索的経路の検索

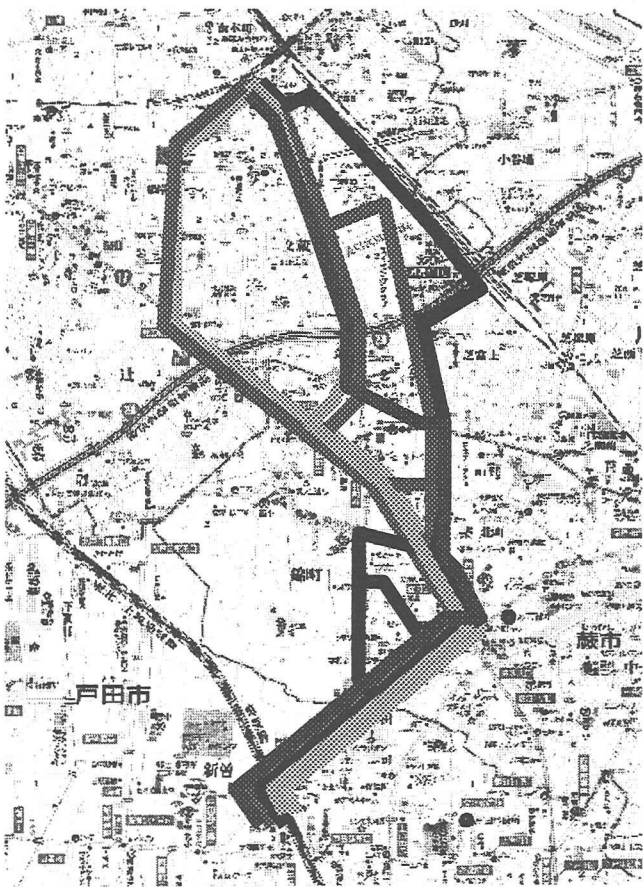


図 7 模索期後の固定的経路

を選択した。これは被験者5人がまったく同じ経路を選択したことも注目に値する。

その後、ドライバーの道路網認知度が上がるにしたがって、より「最適な経路」を検索するために、様々なルートを模索的に走行することが観測された。図6にその経路例を示す。この場合の「最適な経路」は、ドライバーによって価値観が異なり、混雑や渋滞の回避、信号が少ない、走りやすいなど様々な理由が挙げられた。この模索的状态が過ぎると図7に示すような比較的固定的な経路に帰着した。

5. 自動車運転者の段階的経路形成

(1) 仮説

自動車運転者の経路形成過程について、筆者らは先に、アンケート方式による分析を行い⁹⁾、はじめて経路を利用してから日常的に経路を使用するまでの間に、

- ①初期段階（経験がないため、幹線道路などのわかりやすい経路を選択する段階）
- ②発達段階（渋滞を避けるなどの目的のために、経路の試行錯誤を行う段階）
- ③収束段階（日常的に使用する経路が限定されて収束する段階）

という3つの段階があるという仮説を得た。本節では、この仮説について、今回の実験データを用いて検証する。

(2) 経路形成過程に見る段階的成長

まず、被験者が経路の選択肢をどのように獲得したか、

という成長過程をみてみる。実験では、走行前に被験者に対して、今回の走行で使用する可能性のある全ての経路について質問しその経路数を口頭で答えてもらった。

図8に示した結果より、被験者によって傾向は異なるものの、実験回数の増加とともに一般的に使用可能経路数が増加すること、ただし、ある程度の数で収束することがわかる。また、走行経験を積んで収束段階となり、使用可能経路数もある一定数に落ち着いた後にも新たな経路の発見により、使用可能経路数が増加する場合も見られた。新たな経路発見による使用可能経路数の増加は、自動車運転者の空間認知構造の広がりとも大きく関係していると考えられる。また、使用可能経路数において、カーナビゲーションを使用しているグループと使用していないグループとでは、使用しているグループの方が全体的に使用可能経路数が多いという傾向も見受けられた。この事からも、情報提供を受けることで自動車運転者がより多くの経路を選択する可能性があるなどの経路選択行動に与える影響が明らかになった。

運転経験を重ねて行くなかでの経路選択機構の変容について、使用した道路の種類を分類したものが図9である。この図は運転経験の回数毎に、実際に走行した経路の延長を、幹線道路、非幹線道路の割合について集計したものである。これから、①初期段階においては、わかりやすい幹線道路の選択割合が比較的多くなっていること、②中期の段階にあたる発達段階においては、幹線道路の使用割合が減ること、③しかしながら、最終的段階では幹線道路を利用する割合が再び増えていること、が見受けられる。最後の点については、学習の結

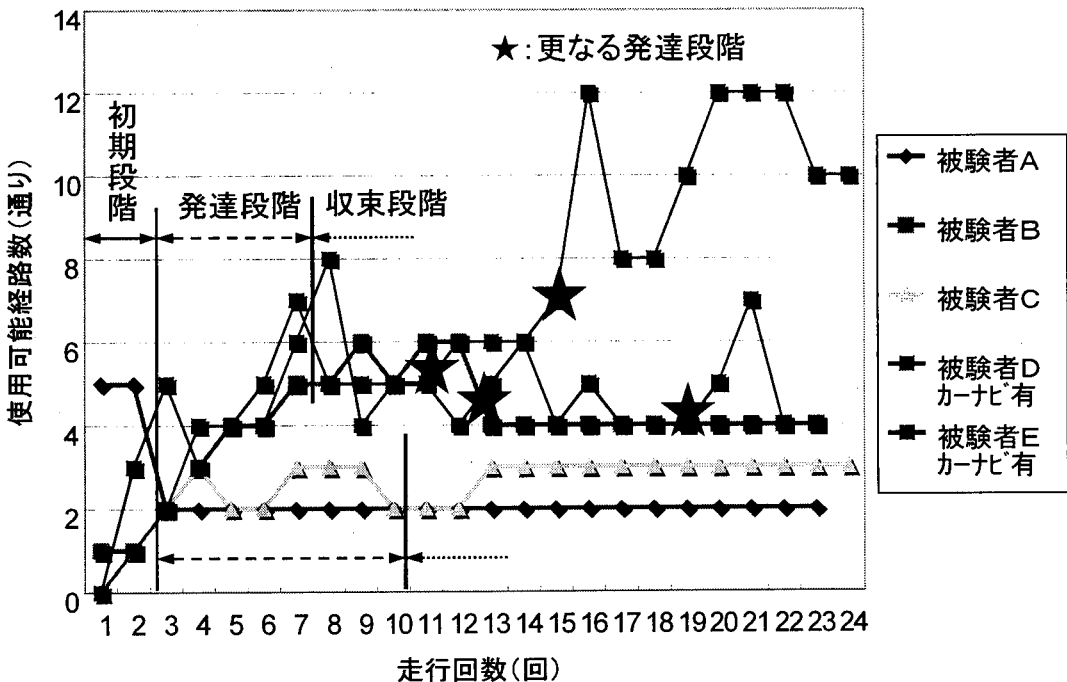


図8 使用可能経路数の獲得過程

果として、渋滞箇所を避けつつ幹線道路を利用する経路を獲得した結果である。

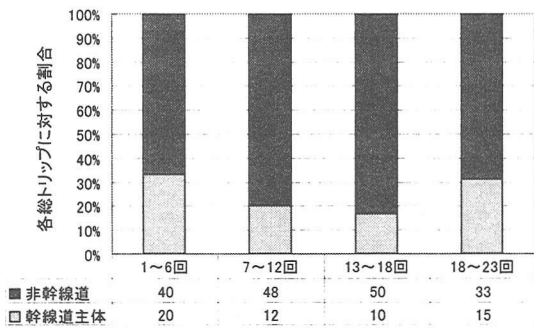


図 9 幹線・非幹線道路の使用割合の変容

(3) 認知地図に見る段階的成長

自動車運転者の経路形成過程には、自動車運転者の空間認知構造が大きく関わっていると考えるのが自然である。そこで次に、自動車運転者の認知地図から仮説の検証を試みる。

まず、認知地図に見られる空間認知構造の違いを、経路形成過程における初期段階と発達段階との比較で見してみる。図 10 に、被験者 D についての実験の第 1 回目と 3 回目の認知地図の比較を示す。

認知地図に見られる空間認知構造の初期段階においては、出発地から目的地間で認知している経路は 1 通りのみで、その空間認知構造には 1 次元的（線的）表現のみ

が現れる。それに対して、発達段階においては、目的地までの認知経路は複数記入され、空間認知構造にも 2 次元的（面的）広がりを見せており、認知ネットワークの拡大が見られる。この様な、自動車運転者の空間認知構造における内面的な変化が、自動車運転者の経路選択行動に影響を与えその経路選択機構においても大きく変化している事が見受けられる。

認知地図に描かれている認知経路リンク数について、実験回数による変容を示したものを図 11 に示す。認知経路リンク数は、周辺の道路ネットワークの認知度を表現する指標である。ここから、①全体的な傾向として、運転経験（実験回数）の増加に伴い認知経路リンク数が増加する傾向が見られること、②しかしながら、その認知経路リンク数はいつまでも運転経験とともに増加するのではなく、ある程度運転経験が増加していくにつれて、その認知経路リンク数は増加率が減少していき、ある一定の値に収束する傾向が見られることがわかる。走行使用経路の形成段階において、使用経路の初期段階の特性が、初回走行後 2～3 回の走行期間中に確認できる。また、認知経路数が増加傾向を示していることから、経路形成過程の発達段階も確認できる。この初期段階と発達段階において、自動車運転者の認知ネットワークは広がっていく傾向にあると見受けられる。実際の走行では、初期段階においては主に幹線道路を中心とした広くわかり易い道が選択される事が多い。また、発達段階においては、渋滞・混雑、信号を避けるように経路を選択する傾向が見られ、多くの経路を使用し、より満足度を

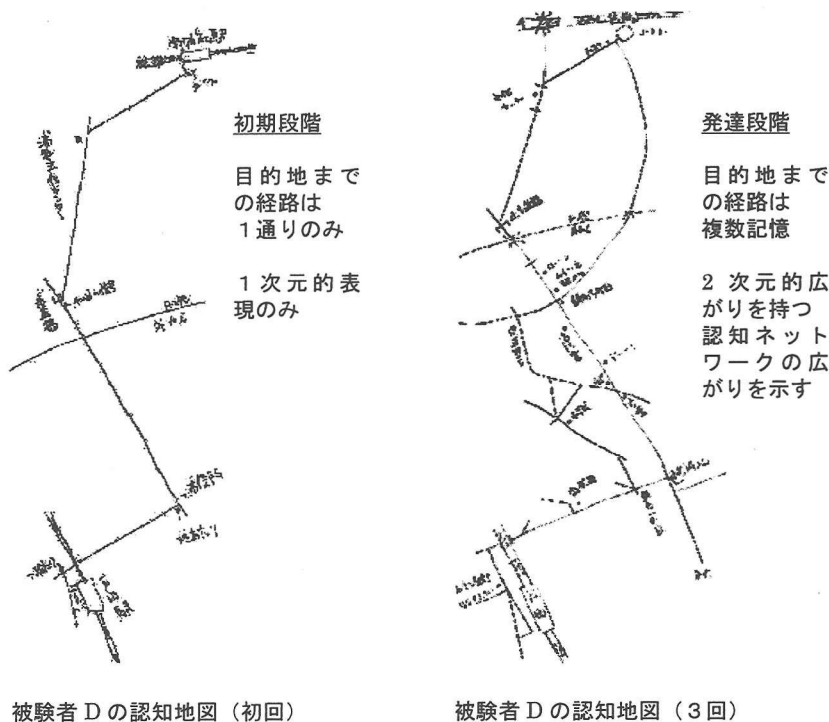


図 10 経路形成段階の空間認知構造の変容
(被験者 D の認知地図)

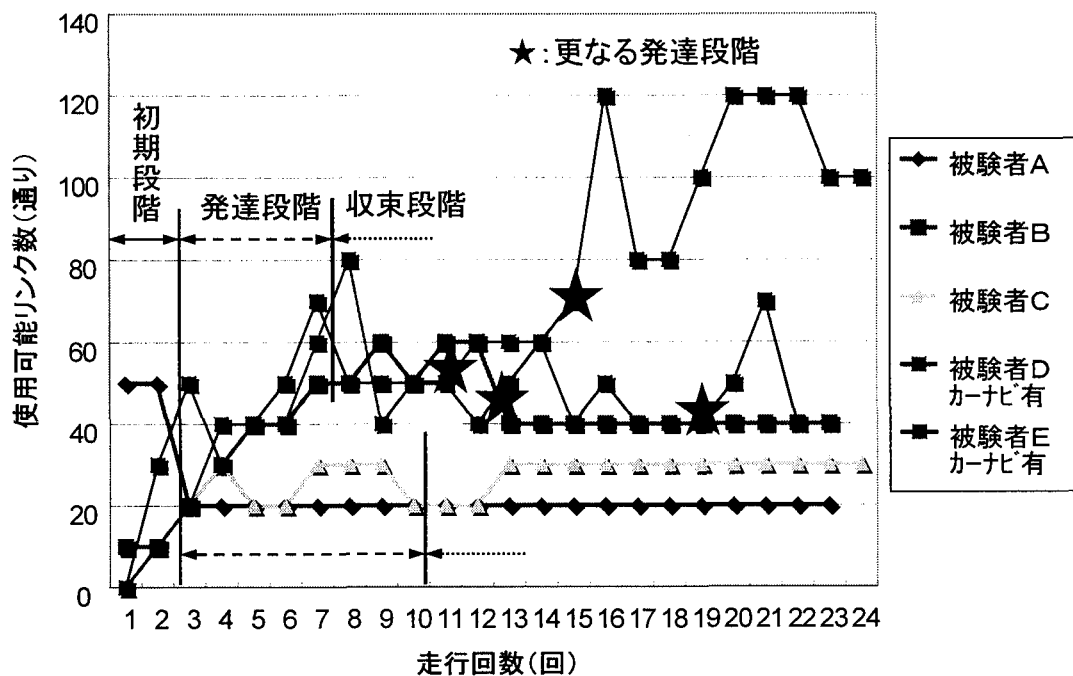


図 11 認知経路リンク数の変容

えられる経路を探すというような経路模索状態が見受けられた。

また認知経路数の増加率が減少しある一定の数に落ち着いた段階においては、経路形成過程が収束段階に入っていると見受けられる。この収束段階において実際の使用経路はほぼ固定され、その後は使用経路が大きく変化する事は無くなってきている。しかし、収束段階に達して、認知経路数が収束傾向を示した後も、新たな発見による認知経路数の増加を伴う発達段階が見受けられ、収束段階は必ずしも定常的なものではないことが分かった。

(4) 収束段階における経路選択行動

収束段階における「収束」の意味について、もう少し検討を加える必要がある。すなわち、収束段階の使用経路の状況やプロトコル法のデータによると、収束する場合の経路は必ずしもひとつの固定された経路だけを使用するようになるのではなく、合理的ないくつかの候補を作った上で、状況に応じて使い分ける行動が見られたのである。そしてそこには、「こういう場合にはこの経路を使う」といった、いわば IF-THEN ルールとでもいうべき手続きが出来上がっていた。

図 12 は、ある被験者の収束段階における経路の例であるが、ここでは次のような IF-THEN ルールが確立している。この被験者の場合については、

“IF : 「①交差点の信号に止りそうだと判断」

THEN : 「経路を変更して事前に②または③で左折」

ELSE : 「そのままの経路を進んで①で左折」”

というようなルールを獲得するにいたっていた。

経験あるいは情報が完全なものに近づくと、確かに経路の試行錯誤は行われなくなるが、必ずしも唯一の経路に収束するわけではないことを、この例は示している。こうした状況は、例えば、道路網をほぼ完全に把握しているタクシードライバーが、道路状況に応じて経路を使い分けている、といった日常の経験とも合致する。

以上の分析から、経路の形成過程として概ね 3 つの段階が存在することが明らかになったといえよう。

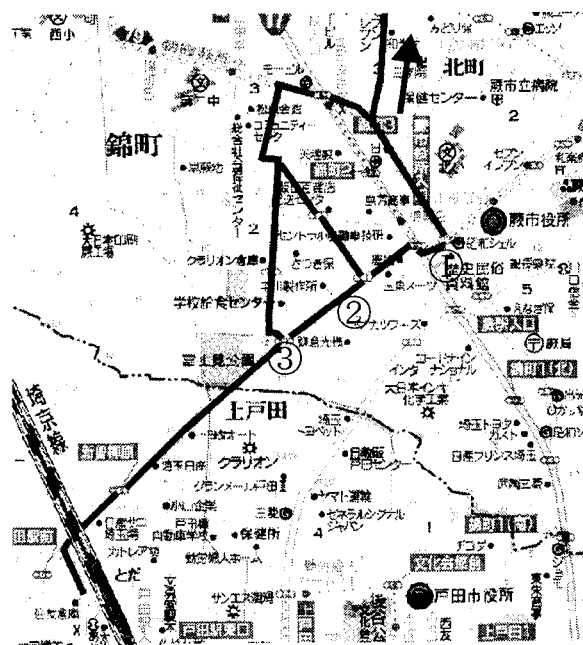


図 12 収束段階における IF-THEN ルールの例

6. 情報レベル差と経路認知の関係

(1) カーナビゲーションシステム使用者の経路形成

認知リンク数の発達段階と収束段階の時期において、カーナビゲーションシステムを用いた被験者グループと用いていない被験者グループとの間に経路認知の違いが見られた(図 11 参照)。

カーナビゲーションシステムを用いた被験者は、カーナビゲーションを用いていないグループよりも収束段階に早く移行することが確認され、また経路形成段階における初期段階、発達段階、収束段階における認知経路の数においても、カーナビゲーションシステムを使用しているグループと使用していないグループとでは、カーナビゲーションシステムを使用しているグループのほうが認知経路数が多いという結果が表れた。この結果から、カーナビゲーションシステム等の情報提供によって、自動車運転者の空間認知構造についても情報を与える事になり、より多くの、また多岐にわたる空間認知を促す事が確認された。

また走行前に予定していた走行経路を途中で変更した割合を被験者グループ毎に示したものが図 13 である。この結果から、カーナビゲーションシステムを使用しているグループのほうが予定していた経路を途中で変更し走行した割合が多い事が確認される。

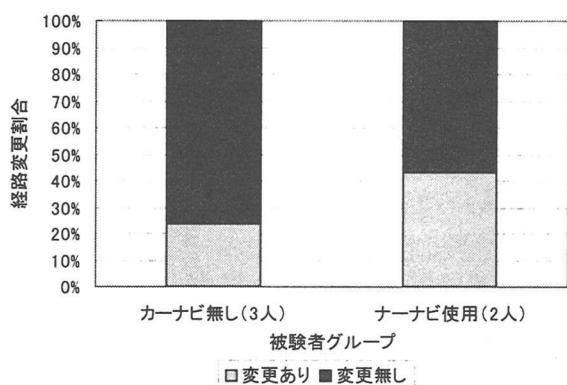


図 13 カーナビの有無別に見た経路途中変更割合

(2) 注視挙動による比較

カーナビゲーションシステムの有無による経路探索の相違を見るために、自動車運転者の注視挙動に着目してみた。すなわち、走行実験の一部でアイマークレコーダを使用し、被験者の視点について分析した。図-14 は、経路形成段階別に見たカーナビ有無別の注視数の比較を示したものである。

まず、一般的傾向についてまとめると、走行 1 回目の運転経験の少ない段階においては、注視時間数が比較的多い。このことから初期の段階においては周囲の建物等に多く目を配っていると考えられる。走行 3 回目においては、初期の段階よりも多くの時間周囲に目を配っている事が見受けられる。経路形成段階における発達段階で

この注視行動は、経路模索状態にある自動車運転者の注視行動であると考えられる。また、走行 11、12 回目、および 22 回目と走行経験を重ねた後の注視行動においては、ともに注視時間が減少している事が見受けられる。これは、走行経験による空間認知構造の発達によって建物を注視する事無しで経路を認知したり、収束段階になるにつれて使用経路が固定し、周囲に目を配る事が少なくなっていく事を示していると考えられる。このように、走行段階が進むにつれて自動車運転者の注視行動に変化が見られた。

カーナビゲーションシステムの有無で比較してみると、カーナビを使用しているグループの方が、若干注視時間が少ないという傾向も見受けられた。

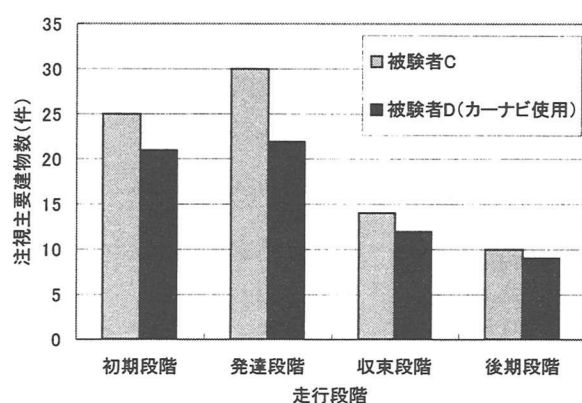


図 14 経路形成段階別に見たカーナビ有無別の注視数比較(主要建物注視に関する比較)

7. まとめ

本研究は、自動車運転者の経路発見、獲得およびその選択のメカニズムを解明するための基礎的研究であった。いうまでもなく、この実験だけからメカニズムの全体を明らかにすることは不可能であるが、少なくとも次の点は明らかになった。

まず、仮説として設定した経路の段階的形成については、運転経験の少ない段階での「使用経路が少なく主にわかりやすい幹線道主体の経路を選択する初期段階」、「試行錯誤の結果、使用可能経路数が多くなり、また新たな経路の発見などが行われる発達段階」、そして最終的に、「多くの経路の中で、限定的かつ使い分け可能な少数の経路に収束しそれ以上の大きな経路変更は行われなくなる収束段階」という大きく 3 つの段階に別れるという段階性がみられた。さらにその 3 つの段階成長の他に、更なる発達段階が発生し得るという事も見受けられる事が出来た。注視行動からみた情報獲得への努力の経過から見ても、上の 3 段階の存在が伺われた。

また、自動車運転者の持つ情報の差、とりわけカーナビゲーションシステムの有無によって、経路選択や運転行動に大きな差が認められたことから、経路選択メカ

ニズムの解明に当たって外部情報も大きな要素として扱う必要があることが改めて示された。

また、本研究で行った走行実験は3ヶ月という長期にわたるくり返し実験であったこともあり、被験者が学生5人というごく限られたサンプルを取得するにとどまった。今後は多様なサンプルを取得することで、より一般性を有する結果を得る必要があろう。

この実験で得られた注視データ、認知地図、および選択経路の間にある関係についてのより詳細な分析を通じて、情報と記憶、および経路選択の関係をより明快に明らかにすることが、当面の今後の課題である。

なお、本研究は、平成8・9年度の文部省科学研究費補助研究『情報処理モデルとして捉えた自動車運転者の経路選択構造のモデル化に関する研究』（研究代表者 久保田尚）の成果によるものである。

本論文の作成にあたり埼玉大学大学院の菊池守久氏にご協力を頂いた。この場をお借りして感謝の意を表す次第である。

<参考文献>

- ¹⁾久保田尚, 加藤篤史, 窪田陽一: 自動車運転者の認知地図の特性に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.9, pp.61-68, 1991
- ²⁾Kubota.H, Koyama.S, Iwazaki.N and Monji.T: Can we protect our neighborhood from "Intelligent Rat-Runners?", 2nd World Congress of Intelligent Transportation Systems, pp.1894-1899, 1995
- ³⁾小山周一, 久保田尚, 岩崎伸昭, 高橋伸夫, 杉浦孝臣: 情報をコントロールされた自動車運転者の Way Finding 機構に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp.603-612, 1996
- ⁴⁾宇野伸宏, 飯田恭敬, 久保篤史: 旅行時間情報提供下での逐次的経路選択行動に関する実験分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.923-934, 1997
- ⁵⁾P.H.L.Bovy and E.Stern: Route Choice: Wayfinding in Transport Networks, Kluwer Academic Publishers, 1990
- ⁶⁾福山剛男, 久保田尚, 岩崎伸昭: “日常的 OD 間におけるドライバーの経路選択行動とその経路形成過程に関する調査研究” 土木学会第 51 回年次学術講演会講演概要集第 4 部, pp.208-209, 1996

くり返し走行実験による自動車運転者の経路選択機構とその変容に関する研究

久保田 尚, 福山 剛男, 坂本 邦宏

本研究は、自動車運転者の経路形成及び経路選択のメカニズムを解明することを究極の目的とし、長期間にわたるくり返し実験によってその基礎的な知見を得ることを目的としている。来訪経験のない市街地に被験者を連れて行き、ある OD 間を地図ないしカーナビゲーションを見ながら運転してもらう。同じ OD 間を約3ヶ月に渡って20回程度、自分なりに最適と思われる経路を選んで走行をくり返す、という実験である。実験の結果、経路の発展過程として、1) 経験がほとんどなく、幹線道路などわかりやすい経路だけを利用する初期段階、2) 試行錯誤を繰り返しながら経路探索をくり返し、結果として市街地構造が獲得される発達段階、3) 少数の使い分け可能な経路に収束する収束段階、をたどることが明らかになった。

Analysis on Car Drivers' Way-Finding Mechanism and its Change by Continuous Car-Driving Experiment

Hisashi KUBOTA, Takeo FUKUYAMA and Kunihiro SAKAMOTO

The ultimate objective of this study is to make clear the mechanism of wayfinding and route choice of car drivers. Authors conducted a continuous car-driving experiment, in which subjects are asked to drive from an origin to a destination for about 20 times in about three months where they have had not visited before. As a result of the experiment, it was made clear that there are three steps of wayfinding and route choice. In the first step, drivers have very limited choice of route choice such as wide arteries because they have little information about the street network. In the second step, drivers try to get information and make try and error to wayfinding. As a result, they get enough information about the street network of the area. At the last step, they have a few alternatives that they can select appropriate one to meet the situation at that time.
