

街路空間構造と歩行者流動を考慮した歩行者行動モデルの構築

柳澤吉保^{*1}・高山純一^{*2}・松本隆嗣^{*3}・上倉道陽^{*4}

Development of a Pedestrian Behavior Model Through Considering Street Space Structure and Pedestrian Flow

YANAGISAWA Yoshiyasu, TAKAYAMA Jun-ichi
and MATSUMOTO Ryuji, KAMIKURA Michiharu

This paper is a research to develop through considering the street space structure and the pedestrian flow the pedestrian behavior model. There are three research stages for model making. At first, the behavioral trait of pedestrians is extracted by gathering the pedestrian occupation data, which show exact point where pedestrians walked through. Then the pedestrian behavior is analyzed, and a model is constructed. Thirdly the pedestrian behavior is simulated by using the developed pedestrian behavior model. It aims to express the behavior of the pedestrian which change according to the time..

キーワード：街路空間構造，歩行者流動，歩行者行動特性，歩行者占有，歩行者行動モデル

1. ま え が き

近年，都心部における歩行環境を改善し，市街地内の回遊性を向上させ，来街者の施設立ち寄り数を増やすことで，市街活性化を目指した歩行者優先街路導入の社会実験が多く都心で行われている。対象とする街路において，歩車道幅員およびその形状，イベントエリアの設置，樹木や花壇の配置，歩車道の段差，交通規制の導入など，さまざまな工夫が施された街路空間形状が導入されている。社会実験の評価として，街路空間形状に対する満足度調査のほか，来街者がどのような歩行者流動を形成するか分析する必要がある。さらに導入予定の街路空間において歩行者がどのような歩行者流動を形成するのか事前に予測・検討できることで，より安全で快適な歩行環境の導入が可能となる。

歩行者行動の既存研究として浅野ら^{1),2)}は，交錯領域に同時に侵入する歩行者間の譲歩行動は，歩行

速度と方向の上限値からなる選択可能速度ベクトルの中から，周辺歩行者との接近コストと静的障害物接近コストの和を最小にしている。さらに近い将来における周辺歩行者の位置を制約として，希望する方向に対してある時間内にできるだけ長く進むような最適な速度ベクトルを決定している。山下ら^{3),4)}は，鉄道駅構内において，駅構内の歩行空間の整備をするために，歩行者挙動のモデル化に関する研究を行っている。しかし，歩行者挙動の中の横断挙動について分析，モデル化への知見を得ているため，モデル化には至っていない。北川ら⁵⁾は，駅前広場空間設計を対象に歩行者と自動車との反応行動を取り上げ，それぞれの視野角と距離を指標とした歩行者行動のモデル化を試みている。これに対し，森田ら⁶⁾は，歩行者行動は広範囲に存在する歩行者の行動を想定するとして視点から，歩行者交通状態にエントロピー概念を取り入れた歩行者交通流解析を行っている。杉谷⁷⁾らは，歩行者と自転車の認知空間距離に基づく4種類の回避行動を設定し，歩行者および自転車個々の挙動をモデル化したマルチエージェントシミュレーションによって，移動の安全性および快適性を評価している。しかしながら，さまざまな街路空間形状やイベントが開催される歩行者道路を評価するために必要な，歩行者交

*1 長野高専環境都市工学科教授

*2 金沢大学大学院自然化学科教授

*3 長野高専専攻科生産環境システム専攻

*4 長野高専環境都市工学科

原稿受付 2010年5月20日

通流の歩行空間内占有傾向まで明示的に予測するモデルとはなっていない。一方、辻ら⁸⁾は、歩行者流動をフローベクトルとして扱い、街路空間における歩行者数の占有状況を再現するとともに、歩行空間のにぎわい・憩い・安らぎなどの主観に与える影響を定量的に分析している。しかしながら、歩行者相互および歩行者数、沿道施設・障害物等によって歩行空間における歩行者の歩行位置は変化すると考えられるが、歩行者周辺の環境の影響を考慮した歩行流動状況の変化までは明示的に分析に組み込まれていない。

来街者に対して安全で快適な歩行者優先街路空間を提供するためにも、設計された街路空間形状と設定された道路交通条件の代替案に対して、歩行者が歩行空間のどの位置を占有しながら移動していくかを再現することで、それぞれの街路空間導入案を評価できると考えられる。

そこで本研究では、中心市街地で導入された歩行者優先道路を対象に、(1)時々刻々と変化する来街者流動を計測する。(2)歩行空間における来街歩行者の占有状況と街路空間形状との相関関係を分析する。(3)歩行空間における歩道幅員、対面歩行者の有無等を考慮した来街者の直進、停止・滞留、左右回避行動特性を明らかにする。(4)来街者行動特性と、道路交通条件を考慮した来街者行動モデルを構築する。

2. 計測対象区間概要

計測区間は図1の枠内に示すとおり、長野駅と善光寺を直接結ぶ「ふれ愛通り」(長野市中央通り)を対象とした。計測方法はふれ愛通りに面したマンションの屋上の高さ約32mより、南側の街路の約150m区間を対象とし、歩行者、自転車、バス、自動車の移動状況をビデオ撮影した。本研究で用いた画像の、計測日時および歩車道状況は表1に示す。まず、これら来街歩行者の特徴を考慮した、歩行者の行動を分析する。

3. 歩行者の街路占有特性

街路空間における来街者の行動特性を抽出するために、ビデオ画像を分析し、歩行者をはじめとする来街歩行者流動を、線で結ぶことによって可視化する。分析の手順を図2に示す。

まず、ビデオ撮影では、前述のように分析対象となる街路空間の撮影を行い、映像サンプルを入手する。次に、分析対象区間の平面上に、1m×1m 間隔相当のメッシュを、座標を変換することで画面上に引けるように整理する。各メッシュには、リージョン番号が付与される。歩行者流動を示す、歩行者行動軌



図1 計測対象区間

表1 計測日時と状況

日時・区間	撮影場所の歩車道状況
2007年5月4日 10:15~11:30 トランジットモール社会 実験実施 (イベント実施 区間長 700m)	実験区間においてイベントエリア8箇所を 車道に左右交互に設置。交通規制有 り(バス、タクシーは通行可)。
2008年5月4日 12:30~13:10 トランジットモール社会 実験実施 (イベント区間 長 700m)	実験区間においてイベントエリア8箇所を 車道に左右交互に設置。交通規制は なし。
2009年5月3日 10:15~11:45 花回廊実施 (イベント区間 長 800m)	実施区間において花壇を 歩道に設置。

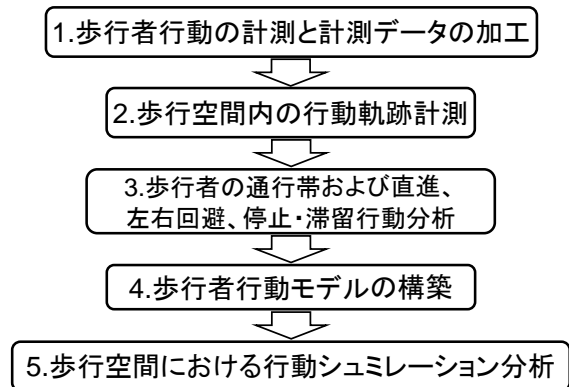


図2 分析の流れ

跡は、画像計測支援ソフトウェアを用いて1.0秒ごとに計測する。計測されたデータに基づいて来街者

歩行者の歩行行動の分析を行う。

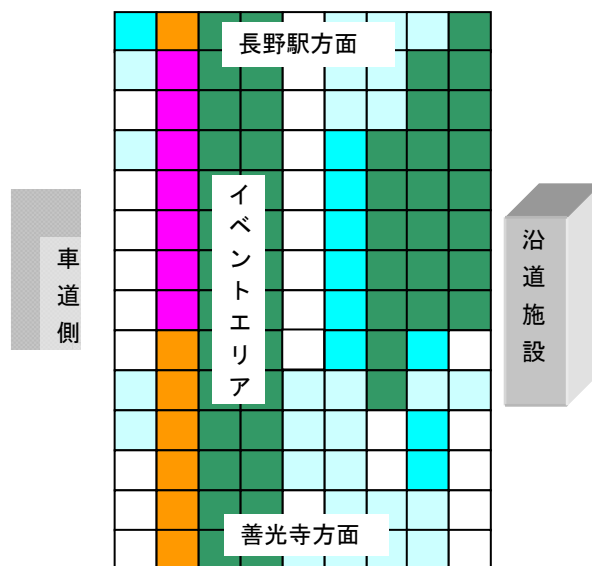
3-1 街路空間の歩行実態

歩行者が街路空間のどの位置を歩行しているのかを把握するため、街路空間形状を考慮した歩行者の街路空間占有率を検討する。計測区間内を歩行する歩行者について、一秒ごとに各メッシュを通過する歩行者数を数えた。計測時間内に各メッシュを通過する歩行者数を集計し、断面ごとに通過する総歩行者数に対する当該断面の各メッシュを通過する歩行者数の比である各断面歩行者占有率を求めた。紙面の都合上、オープンカフェなどのイベントが導入され、歩行空間が拡幅された2007年と、イベント等が導入されず、平常時と同じ歩行空間形状であった2009年の結果(いずれも善光寺方面)を図3に示す。

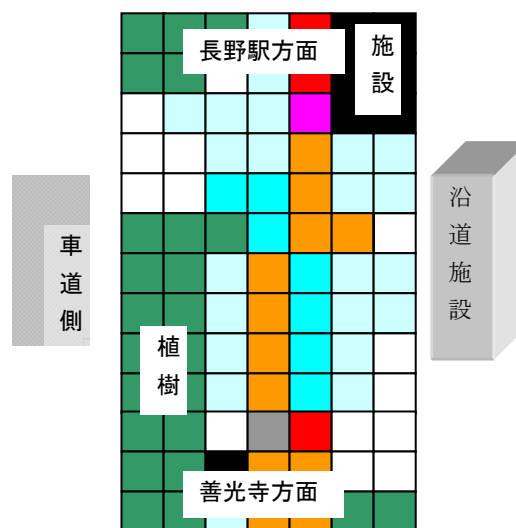
図3(a)で示すとおり歩行空間が拡幅された2007年では、善光寺方面に向かう歩行者は歩道中央を移動する歩行者と、イベントエリア周辺に滞留する歩行者、沿道施設側を移動する歩行者に分かれていることがわかる。図には示さなかったが、長野駅方面に向かう歩行者も歩道中央、イベントエリア、沿道施設側の3つの通行帯を移動する歩行状態が形成されていたが、善光寺方面と長野駅方面で1通行帯分ずれていた。したがって、歩行者は選択した通行帯はある程度維持しながら移動していることが分かった。また、計測時はゴールデンウィーク期間中であり、歩行者数も多かったため、イベントエリアでは車道側に出てしまう歩行者も多数現れた。一方、図2(b)に示すとおり平常時と同じ歩道形状で行われた2009年では、歩道中央を移動する歩行者が最も多く、ついで沿道施設側を移動する歩行者が多かった。長野方面に向かう歩行者も歩道中央通り、沿道施設付近を移動する歩行者が多かった。特徴的だったのは、車道側を移動する歩行者が極端に少なかった。以上より、歩行者は目的地に向かって通過する場合は、歩道中央を継続して利用し、沿道施設に立ち寄る意思のある歩行者は沿道施設側を利用する。車道側は避けるような行動をとるが、歩道幅員に対して歩行者数が多く、イベントエリアが設置されているなど、車道側に集客施設が存在する場合、歩行者は車道側に出るなど、危険な行為を行う可能性がある。

3-2 歩行空間形状と歩行者占有状態との相関関係

歩道空間形状と歩行者占有状態との関係を分析するため回帰分析を適用した。前節の集計結果より、歩行者が選択する移動位置は中央通りが多いこと、街灯や花壇などの設置物を避けることから、「車道からの距離」を採用した。また、進行方向の障害物(植樹など)の存在によっても占有率が低くなっていることから「障害物の有無」、イベントエリア周辺には歩



(a) イベント導入あり(2007年春)



(b) イベント導入なし(2009年春)

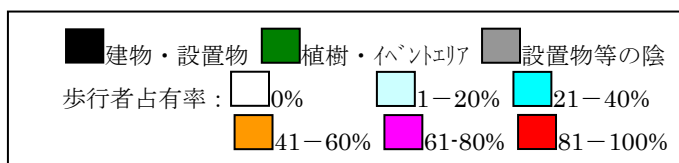


図3 街路空間の各断面歩行者占有状況

行者が滞留することから「イベントエリアまでの距離」も説明変数として採用した。データは善光寺方面と長野方面のデータを統合した。分析結果を表2に示す。

相関分析の結果、歩行者の移動位置はなるべく車道から離れた位置を移動していることがわかる。沿道施設に立ち寄る歩行者以外は、沿道施設からも離れた位置を移動することもわかる。これらの係数およびt値の大きさから歩行者は歩道中央からやや沿道施設よりに通行帯を形成することが分かる。イベントエリア間での距離の係数が負であることから、

イベントエリアに近い通行帯に吸収される歩行者が多いことが分かる。また、障害物の有無の係数が負であることから、障害物が存在する通行帯は避ける傾向にあることが分かる。以上より、歩行者が多く移動する中央から沿道施設側には移動を遮る構造物の設置を避けることと、イベントエリアには歩行者が吸収されるため、車道側に設置する場合は、歩行者が車道側に出てしまわないような仕組みを導入する必要がある。

4. 歩行者行動モデルの構築

4-1 歩行者行動の概要

本研究は、街路空間形状に応じて形成される歩行者流動状態を分析することを目的とする。歩行者流動状態の形成を分析するにあたり、歩行者が障害物およびイベントエリアまでの距離のほかに対面歩行者の有無の影響も大きく受けると考えられる。

歩行中に対面歩行者および樹木・花壇・電灯など歩道内設置物の有無を考慮し、そのまま直進、左右回避、あるいは停止・滞留するかを決める。

さらに左右回避の場合、回避後の位置を基準に車道あるいは、沿道側施設への接近を考慮した行動を行うと考えられる。ここでは、直進継続、左右回避、停止・滞留選択行動を「障害物およびイベントエリアまでの距離」、「対面歩行者の有無」を用いてモデル化する。さらに歩道における通行帯選択行動では「車道までの距離」、「歩道幅員」を用いてモデル化する。

4-2 通行帯の選択について

モデル構築のための歩行者データを採取する際、モデルの上位レベルに組み込む通行帯の本数は5本である。図5は歩道幅が5mのときの例であり、図に示す通行帯1本当りの幅は1mである。したがって、歩道幅員が変化するとそれに伴って通行帯の本数も増減する。今回用いた映像サンプルでは、年度ごとに歩道幅員は異なる。

4-3 モデル式について

歩行者行動選択構造ツリーに基づき、下位レベルの行動変更モデルは式(1)に示す。

$$P_{ji} = \frac{e^{V_{ji}}}{\sum_{j=1} e^{V_{jv}}} \quad \dots (1)$$

ここで、 i は通行帯変更行動の選択肢を表す。効用関数は式(2)に示す。

$$V_{ji} = \beta_1 \times (\text{障害物までの距離}) + \beta_2 \times (\text{イベントエリアまでの距離}) + \beta_3 \times (\text{対面歩行者の有無}) \quad \dots (2)$$

表2 歩行空間形状と歩行者占有状態との相関関係

街路形状要素	偏回帰係数	t 値
車道からの距離	3.720	11.540
沿道施設からの距離	3.203	9.224
イベントエリアまでの距離	-1.732	-2.066
障害物の有無	-1.459	-0.599
重相関係数	0.649	

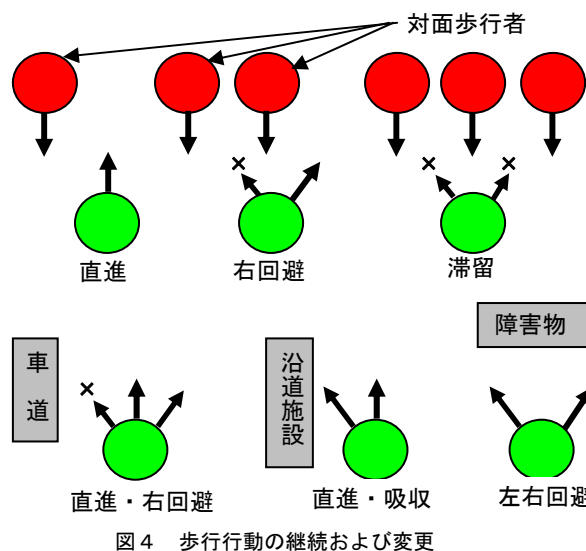


図4 歩行行動の継続および変更

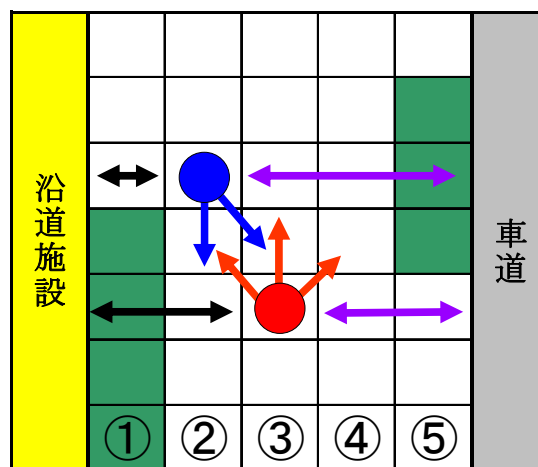


図5 通行帯選択

上位レベルの通行帯選択行動のモデル化では、下位レベルにおける効用も考慮し、式(3)に示す。

$$P_i = \frac{e^{(V_i + \lambda V_i^*)}}{\sum_{i=1} e^{(V_i + \lambda V_i^*)}} \quad \dots (3)$$

ここで、 j は歩道の通行帯を表す。合成変数は式(4)に示す。歩行者通行帯変更の効用関数は式(5)に示す。

$$V_i^* = \ln \sum_{j=1} e^{V_{jv}} \quad \dots (4)$$

λ : ログサムパラメータ(スケールパラメータ)

$$V_i = \beta_4 \times (\text{車道までの距離}) + \beta_5 \times (\text{沿道施設までの距離}) + \beta_6 \times (\text{歩行者数/歩道幅員}) \quad \dots (5)$$

4-4 歩行者行動のモデル化

前節(1)の仮定に基づいて、NL型ロジットモデルを用いた歩行者行動モデルを構築する。歩行者行動選択構造ツリーを図6に示す。

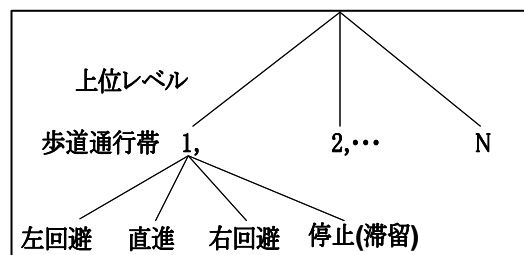


図6 歩行者行動選択構造ツリー

5. 歩行者行動モデル分析

5-1 モデルパラメーターの推計

表3にモデルパラメーターの推計結果を示す。現在、データ収集集中であり、計測データの数及び整理が十分でないことから、本稿で表示する推計結果には上位レベルのNL値の結果が極小値となっている。

5-2 推計結果の考察

表3の結果より、下位レベルでは、「障害物までの距離」の符号が正であるため、障害物までの距離が短い場合は、障害物を避けるような行動をとることがわかる。「障害物までの距離」のt値は符号が負であり、また、絶対値が最も大きいので、障害物との距離が歩行者数に大きな影響を与えている。「対面歩行者の有無」の符号は負であるため、対面歩行者が直進通行帯に存在すると、歩行者は直進を避け、左右どちらかに回避行動をとることがわかる。「イベントエリアまでの距離」、「対面歩行者の有無」のt値には大きな差がないことから、歩行者行動に同じだけの影響を与えていることがわかった。

今回の推計結果では、上位レベルの説明変数のt値は、極めて小さな値となった。ただし、符号は妥当な結果を得ている。「歩道幅員」の符号が負であることから、歩道幅員が拡張されるほど、単位幅員当りの歩行者数が減少し、結果としてスムーズな歩行が実現される可能性が高い。「車道までの距離」は、歩行者が歩行している歩道内通行帯から車道端までの距離を表している。すなわち、自動車等による危険因子がある車道側通行帯の歩行者は減少することになる。また、「単位幅員当たりの歩行者数」は、「歩道幅員」と同じ考え方で、幅員が広がれば歩行者の行動範囲が広がり、歩行者は歩道を広く使おうと分散することが予想できる。

6. あとがき

本研究での分析結果より、まず、歩行者占有より得られた知見を以下に示す。

表3 歩行者行動モデルの推計結果

説明変数		NLモデル推計結果 (t値)
上位レベル	歩道幅員	-0.182*10 ⁻¹³ (※)
	車道までの距離	-0.992*10 ⁻¹⁴ (※)
	歩行者数/ 歩道幅員	-0.129*10 ⁻¹⁰ (※)
合成変数		1.0
下位レベル	障害物までの距離	0.002 (5.095)
	イベントエリアまでの距離	-0.555 (-1.853)
	対面歩行者の有無	-0.235 (-1.219)
尤度比		0.471

※…小さな値

6-1 歩行者の行動特性について

- 1) 進行方向ごとに、選択された通行帯の歩行者流動が維持されるように歩行が行われる。
- 2) 歩道の中央の通行帯を選択する傾向が強い。
- 3) 中央の通行帯が選ばれやすいが、沿道施設を利用する目的のある歩行者が多い場合では、沿道施設側の通行帯の占有率も大きくなる。
- 4) 基本的に、歩行者は歩道内における車道側付近の通行帯をあまり選択して歩かないが、イベントエリアの設置等の要因により、車道側に集まることがある。

6-2 街路形状と歩行占有状況の相関について

- 1) 歩道中央の通行帯を選択しやすい。
- 2) ただし、歩行者はイベントエリアに近づく傾向がある。
- 3) 進行方向に障害物があると、通行帯を変更することがわかる。

歩行者の行動特性を踏まえモデル化を行った。以下に、モデルの結果、及び改善点について述べる。

6-3 歩行行動の変更と通行帯選択モデルの推計結果

- 1) 障害物に近づくに従って通行帯を変更する可能性が高い。
- 2) イベントが実施されていると歩行者がイベント側の通行帯へ移動する。
- 3) 歩行者は、進行方向に対面歩行者が存在すると、回避行動をとる。
- 4) 歩道幅が拡張されると、歩行者がスムーズに行動するため、各通行帯の歩行者数が少なくなる。

NL モデルの推計結果は以上の結果になった。係数に対する符号は、歩行者占有分析による歩行者の行動特性と整合性が取れているのだが、係数と t 値が小さな値で相関が取れてなかった。また、歩行者の行動特性では、歩道の中央を利用する歩行者が多いのだが、今回の推計ではそれを再現していない。したがって、今後改善すべき点としては、データ全体の見直しを行い、実際の歩行者行動を行うに際して、1. 歩道の中央帯を選択するような歩行者行動特性に則した結果であるか確認し、2. モデルのツリー構造を上位と下位で入れ替えを行う、3. 上位及び下位レベルのスケールパラメータの整合性の確認等の点が挙げられる。これらの注意点に留意し、NL モデルの改善を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 浅野美帆, 桑原雅夫, 田中伸治: 混雑時におけるマイクロ歩行者流動モデルの構築, 第5回 ITS シンポ

ジウム, pp.419-424,2006

- 2) 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫: 交錯交通の容量評価のためのマイクロ歩行者行動モデル, 交通工学, Vol.43, No.4, pp.23-34, 2008

- 3) 山下良久: 鉄道駅構内における歩行者挙動のモデル化に関する研究, 第 32 回土木計画学研究発表会(秋大会), 講演集 Vol.32, 332, 2005.12

- 4) 山下良久, 福田一太, 内山久雄: 実挙動データに基づく歩行者シミュレーションモデルの構築, 第 34 回土木計画学研究発表会(秋大会), 講演集 Vol.34, 329, 2006.12

- 5) 北川直樹, 羽藤英二, 森博子, 北岡広宣: 歩車動線の錯綜空間における歩行者の速度-角度選択モデルの構築, 第 29 回交通工学研究発表会論文集, pp.157-160, 2009.10

- 6) 森田勝也, 吉井稔雄, 北村隆一: エントロピーを用いた歩行者交通流解析, 第 29 回交通工学研究発表会論文集, pp.161-164, 2009.10

- 7) 杉谷芳宏, 原田昇, 大森宣暁, 円山琢也: マルチエージェントシミュレーションによる歩行者自転車道の評価, 第 25 回交通工学研究発表会論文集, pp.213-216, 2005.10

- 8) 内田敬, 辻智香: 街路空間の主観的評価における歩行者流動効果の定量化, 第 32 回土木計画学研究発表会(秋大会), 講演集 Vol.32, 324, 2005.12