

# サンフランシスコ湾岸地域における交通需要予測手法

*Travel Demand Models in San Francisco Bay Area*

小島 浩\* 森田 哲夫\*\*

By Hiroshi KOJIMA and Tetsuo MORITA

## 1. はじめに

2002年12月に、都市環境施策が先進的に展開されているサンフランシスコ湾岸地域を訪れ、環境施策の運営・予測評価手法について、広域行政機関及びサンフランシスコ郡（サンフランシスコは「郡」と「市」が同一）にヒアリングを行った。本稿は、これら収集した資料の中で、サンフランシスコ湾岸地域及びサンフランシスコ郡における交通需要予測の取り組みを中心に、その概要を報告するものである。

## 2. 交通需要予測に関わる各機関の役割

サンフランシスコ湾岸地域は、サンフランシスコ郡を含み、9つの郡で構成されている。

サンフランシスコ湾岸地域の地域交通計画を策定する際の広域交通需要予測は広域行政機関が担い、サンフランシスコ郡（市）が自郡の渋滞対策計画を策定するにあたっては、郡（市）が独自に、自郡の交通実態を詳細に反映したモデルを構築し、予測評価を行っている。



図-1 サンフランシスコ湾岸地域

### (1) 湾岸地域の広域行政機関

サンフランシスコ湾岸地域は、人口約700万人であり、行政の枠を越えた広域的な行政課題に対しては、いくつかの広域行政組織が設置され、サンフランシスコ湾岸地域の地域計画を主に担当する湾岸地域政府間協議会（Association of Bay Area Government、以下、ABAG）、交通計画を担当する大都市圏輸送委員会（Metropolitan Transportation Commission、以下、MTC）などの単一目的の機関が組織されている。将来予測においては、ABAGが土地利用モデルを活用して湾岸地域のゾーン別世帯数及び従業者数などのフレームを設定し、MTCがそのフレームのもと湾岸地域の交通需要予測を行っている。ここでは、サンフランシスコ湾岸地域の交通需要予測として、ABAGの人口・土地利用モデル（POLIS）と、MTCの交通需要予測モデル（BAY-CAST 90）について概説する。

### (2) サンフランシスコ郡（市）のSFCTA

サンフランシスコ郡では、1989年に交通プロジェクトに投資する売上税の増税が認められ、この税を管理・運営するために、行政委員会（Board of Supervisors）下に、San Francisco County Transportation Authority（以下、SFCTA）が組織された。SFCTAは、1990年には渋滞管理局（Congestion Management Agency : CMA）に指名され、環境改善に向けた渋滞管理プログラム（Congestion Management Program : CMP<sup>1)</sup>）の策定などが求められ、最近では2001年に策定されている。CMPに向けた交通需要管理などの交通政策を検討するために、SFCTAでは、MTCモデルによる予測結果を一部取り入れながら、独自に需要予測を行っている。ここでは、SFCTAが2002年1月に発表した新しい交通需要予測モデル（SF Model）について紹介する。

\* 東北事務所 \*\* 交通政策研究室

### 3 . 各モデルの概要

#### (1) POLIS

##### ① POLIS の概要

ABAG の人口・土地利用モデル (POLIS) と MTC の交通需要予測モデル (BAYCAST 90) は、個別に構築されたものであるが、交通サービス水準を一部共有し予測が行われている。即ち ABAG が設定した人口・土地利用初期値に相当する交通サービス水準を MTC が予測し、ABAG にフィードバックすることにより人口・土地利用を確定し、MTC がそれに基づいて交通需要予測を行う手順となっている。

POLIS は、80 年代に開発され、住宅と雇用をゾーン単位 (114 ゾーン) に予測する土地利用 - 交通モデルである。POLIS の結果は、サブエリア割り当てモデル (Subarea Allocation Model : SAM) のコントロール値として使われ、約 1,400 ゾーンに推計される流れとなっている。

POLIS は、サンフランシスコ湾岸地域のスマートグロースを打ち出している ABAG の 2003 年計画 (Projections 2003) にも活用されている。

##### ② モデル構造

POLIS は、線形計画による総消費者効用の最大化モデルであり、ゾーン別の世帯数及び産業別従業者数 (製造業、小売業、サービス業、その他の 4 区分) を推計する。総消費者効用の最大化は、ゾーンの立地選択に関わる立地魅力度と地域間交通旅行費用の差分 (魅力度 - トリップ費用) で説明され、交通旅行費用の推計は、通勤・買物の OD 交通量を内生変数にしたモデルとなっている。

POLIS の推計フローを図 - 2 に示す。

##### ③ 立地魅力度の計測モデル

目的関数は、以下のように定式化されている。

$$\text{Max } ATTR(i) \cdot HH(i) + ATTR(j,k) \cdot EMPL(j,k) - ZO$$

$$i = 1, 114 \quad j = 1, 114 \quad k = 1, 4$$

$$ATTR(i) = \text{ゾーン}(i) \text{ 世帯の魅力度値}$$

$$HH(i) = \text{ゾーン}(i) \text{ 世帯数}$$

$$ATTR(j,k) = \text{ゾーン}(j) \text{ 産業}(k) \text{ の魅力度値}$$

$$EMPL(j,k) = \text{ゾーン}(j) \text{ 産業}(k) \text{ 従業者数}$$

$$ZO = \text{地域全体の通勤・買物の総旅行時(分)}$$

世帯の魅力度は以下のように定式化される。

$$ATTR(i) = 10 \cdot [RESLND(i) / RESLND(c)]$$

$$i = \text{郡}(c) \text{ 内のゾーン} \quad c = 1, 9$$

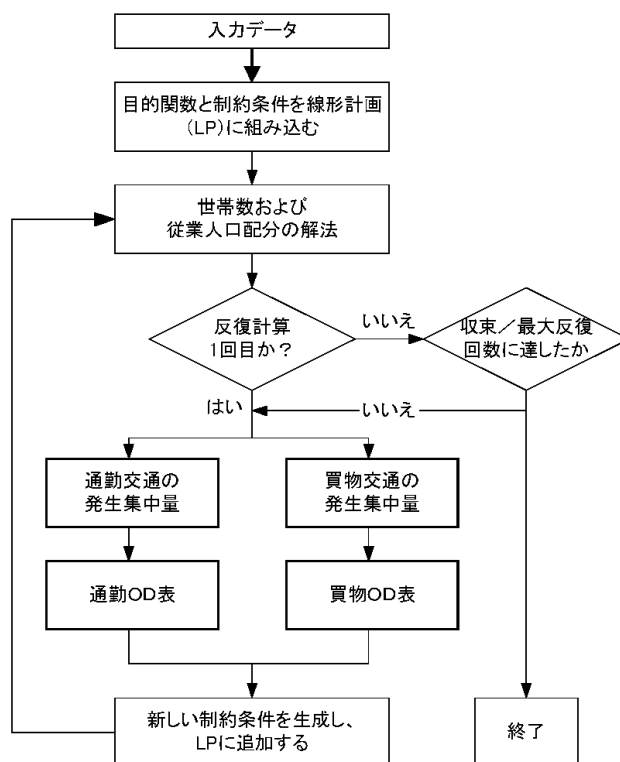


図 - 2 POLIS の推計フロー

$ATTR(i)$  = ゾーン  $(i)$  世帯の魅力度値

$RESLND(i)$  = ゾーン  $(i)$  利用可能住宅用地

$RESLND(c)$  = 郡  $(c)$  利用可能住宅用地

雇用の魅力度は以下のように定式化される。

$$ATTR(j,k) = 100 \cdot [COMLND(j) / COMLND(c)] \cdot [EMPLt-1(j,k) / EMPLt-1(c,k)]$$

$j$  = 郡  $(c)$  内のゾーン  $k = 1, 4 \quad c = 1, 9$

$ATTR(j,k)$  = ゾーン  $(j)$  産業  $(k)$  魅力度値

$COMLND(i)$  = ゾーン  $(j)$  利用可能商業用地

$COMLND(c)$  = 郡  $(c)$  利用可能商業用地

$EMPLt-1(j,k)$  = 前期ゾーン  $(j)$  に立地していた産業  $(k)$  従業者数

$EMPLt-1(c,k)$  = 前期に郡  $(c)$  に立地していた産業  $(k)$  従業者数

##### ④ 制約条件

以下の 4 つの制約条件をもつ。

- ・住宅用地制約
- ・世帯数のコントロールトータル
- ・従業者数のコントロールトータル
- ・利用可能な商業用地制約

##### ⑤ 通勤・買物目的の OD 交通量の推計

世帯数と従業者数のもとで、通勤と買物の発生量と集中度が単純な等式により決定され、通勤・買物

OD表は両側制約のグラビティモデルにより作成されている。土地利用可能性と郡の世帯数・従業者数のコントロールトータルが制約条件となっている。

推計されたOD量をペイダース分割計算法により総トリップ費用を推定する。推計値の総トリップ費用と実績交通費用（OD量にトリップ費用マトリックスを乗じたもの）を比較し、差が10%以下であれば収束させ、そうでなければ、これまでのステップを収束するまで繰り返す。

## (2) BAYCAST 90

BAYCAST 90<sup>2)</sup>は、それまでのメインフレーム版の需要予測モデルであるMTCFCAST 80/81モデル（集計型）を、マイクロコンピュータ版に改良した集計型モデルであり、1990年センサステータにもとづいている。

このモデルにより、湾岸地域の交通需要が予測され、近年では、2001年の地域交通計画（RTP、2年ごとに見直し）などに活用されている。

BAYCAST 90の特徴（改良点）として、ネステッドロジットモデルが世帯内就業者数選択、自動車保有台数選択及び交通手段選択に適用されたことである。また、簡略化された点として、通勤分布モデルの目的地選択モデルが、自動車所要時間のみにもとづくグラビティモデルに簡略化されたことである。その他のMTCFCAST 80/81モデルとの相違点や、モデルの全体概要については、土木学会「道路交通需要予測の理論と適用<sup>3)</sup>」に紹介されていることから、ここでは、紹介されていない部分について整理する。

なお、モデル作成にはケンブリッジシステムテック社の支援を受けている。

### ① データ

モデル構築用データは、1990年に行われた世帯交通行動調査に基づき、これは9,359世帯の平日1日調査データと1,479世帯の平日数日間（3～5日間）調査データから構成される。調査は、世帯及び個人レベルの情報を収集する電話インタビューの後で、トリップベースの調査票を郵送し、出発地・到着地・交通手段・出発時刻・到着時刻、乗車人員を把握している。

ゾーンは、域内1,099ゾーン、域外21ゾーンの計1,120ゾーンであり、道路ネットワークはHOVレーン情報が入った約31,300リンクで構成されている。また、700以上の公共交通路線が含まれ、午

前ピークとオフピークに分けられた公共交通ネットワークが作成されている。

### ② モデル概要

モデルは、世帯内就業者数・自動車台数選択にはじまりトリップ生成 トリップ分布 手段選択 時刻選択 配分といった流れになっている。また、トリップ目的は以下の5つに分けられている。

- ・ 自宅関連通勤（HBW）
- ・ 自宅関連買物・その他交通（HBSH）
- ・ 自宅関連社交・娯楽（HBSR）
- ・ 自宅関連通学（HBSK）
- ・ 非自宅関連交通（NHB）

#### i . 世帯内就業者数・自動車台数選択モデル

世帯内就業者数・自動車台数選択モデルは、世帯内就業者数と自動車台数が階層になったネステッドロジットモデルである。このモデルに活用される世帯収入、世帯人員などはABAGの予測値が活用されている。

#### ii . トリップ生成モデル（発生集中量）

自宅関連通学以外は重回帰式となっている。

#### iii . トリップ分布モデル

グラビティモデルに使用される距離抵抗は、自宅関連通勤と自宅関連通学では、午前ピーク時の所要時間のみが使用され、自宅関連買物、自宅関連社交及び非自宅関連トリップにはピーク時とオフピーク時を合成した所要時間が活用されている。ピーク時とオフピーク時の合成比率は90年の世帯調査に基づき、ピーク時：オフピーク時=32.4%：67.6%と設定されている。

BAYCAST 90では目的地選択モデルからグラビティモデルに簡略されているが、現在開発中のMTCFCASTモデル（非集計）では、ロジット型分布モデルが組み込まれている。

#### iv . 交通手段選択モデル

交通手段選択モデルは、自動車、公共交通、徒歩、自転車の4モードであり、これに乗車人員及び端末交通手段が階層になったネステッド型になっている。選択モデルの重要な点としては、午前ピークとオフピークの両方の所要時間とトリップ費用が用いられていることである。交通目的の交通手段選択はピークとオフピークのどちらか一方ではなく、両方の変化に影響を受けることになっている。

#### v . 出発時刻モデル

このモデルは自宅から勤務先に向かう自動車利用

トリップのみに適用され、以下の2つの時間帯が設定されている。

- ・午前6:30~8:30(ピーク)に自宅から勤務先に出発
- ・午前6:30前又は8:30以降(オフピーク)に自宅から勤務先に出発

### (3) SFCTA の SF Model

#### ① 背景

1990年のセンサスによると、サンフランシスコは、公共交通利用が全米で2番目に高く、通勤・帰宅における自動車以外の手段構成が3番目という、全米の中でも公共交通の利用率が高い都市であることが特徴である。

また、CMPでは、環境改善に向けた交通需要抑制策(一人乗り自動車交通の抑制など)公共交通利用を重視した政策が重視されている。

このような背景のもと、San Francisco Travel Demand Forecasting Model System(以下、SF Model)は、サンフランシスコ特有の豊かな公共交通を表現し、かつ、交通政策導入効果を都市交通への影響をより正確に分析・表現できるモデルとして開発された。このモデルは、渋滞管理プログラム2001(CMP)に適用されている。

なお、モデル開発には、ケンブリッジシステムテック社(Cambridge Systematics, Inc.)が関わっている。

#### ② モデルの特徴

SF Modelの大きな特徴として、ツアー単位のアクティビティモデルで構築されていることである(図-3)。モデルの中では、1日のツアーパターンを、以下の5つのツアータイプで表現している。

- ・自宅ベース通勤ツアー
- ・自宅ベース通学ツアー
- ・自宅ベースその他ツアー
- ・自宅ベースの2次ツアー
- ・勤務地ベースのサブツアー

主たる活動が、2つ以上の異なるツアーをもつ場合は、行き先での滞在時間が最も長いものでツアータイプを確定している。

特徴の2点目として、図-4のモデルシステムのフローにみるように、自動車利用可能性モデルからはじまって、目的地選択モデルの結果が職場位置モデルに反映され、再度自動車利用可能性モデルに

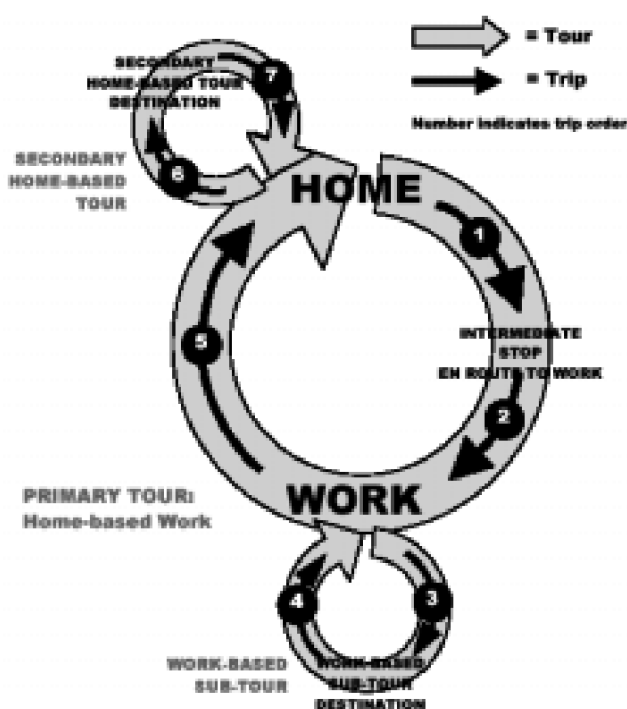


図-3 1日のツアーパターンイメージ

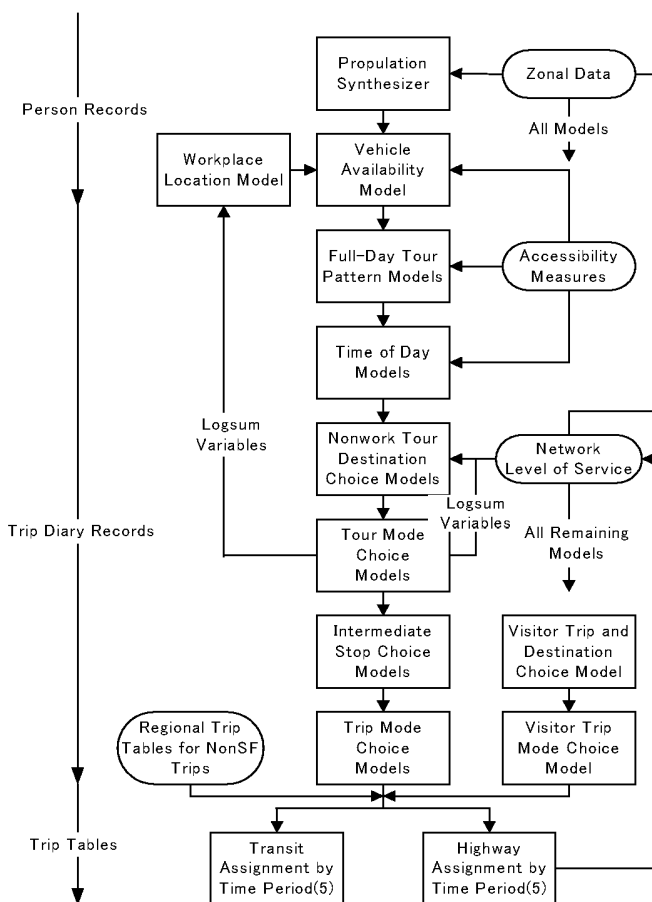


図-4 SF Modelのモデルシステム

フィードバックされるとともに、配分結果の交通サービスが、各モデルにフィードバックするフローとなっている点である。

3点目に、マイクロシミュレーションモデルとして開発されたことである。1990年センサスデータを用いて、世帯人数/世帯内就業者数・世帯主年齢・世帯収入により108の世帯タイプに分けた合成サンプルから需要予測が行われている。

### ③ MTCの予測値との関わり

SF Modelは、サンフランシスコ郡居住者の交通需要を取り扱い、その他の郡居住者の交通需要は、MTCの予測結果を活用している。

### ④ ゾーンとデータ

サンフランシスコ郡内のゾーン数は、MTCのゾーン(127ゾーン)を分割し766ゾーンとし、ベイエリア全体で1,739ゾーンとしている。ネットワークデータは、サンフランシスコの全道路と公共交通路線が網路されており、51,000リンクから構成されている。

モデル構築用のデータは、その多くは1990年のMTCベイエリア交通調査データが活用され、交通実態をとらえるための実態調査は行われていない。なお、SP調査(サンプル数609)が1999年に行われたが、変数間のトレードオフ関係の分析に止まり、結果的にモデルの変数には適用されなかった。

### ⑤ 各モデルの概説

#### i. 自動車利用可能性モデル

世帯内の利用可能な自動車台数を予測するモデルであり、「自動車保有なし」「1台保有」「2台保有」「3台以上」の4選択の多肢選択ロジットモデル(ML)から構築されている。モデルは、1990年のMTC調査データの1,244サンプルを活用している。説明変数としては、世帯属性データ(世帯内成人数、世帯内就業者数、世帯収入)、交通サービスレベル(自宅から勤務地までの自動車所要時間、公共交通と自動車の所要時間比、勤務地の駐車費用)等が適用されている。

#### ii. 1日行動パターンモデル

1日行動パターンは、以下のようなツアーの特性の組み合わせを加味し計16タイプに分けている。

- ・自宅ベースツアーの目的(4分類:「通勤」「通学」「他」「なし」)
- ・自宅ベースのトリップチェーンタイプ(4分類:ツアーの中の立ち寄り場所の位置により主

要目的地の「前」「後ろ」「なし」「両側」)

- ・自宅ベースの2次ツアー数(3分類:「0」「1」「2以上」)

また、3つの個人属性(「子供・学生」「就業者」「その他の成人」)でセグメンテーションしている。サンプル数は、最も多い「就業者」で2,170サンプル、最も少ない「学生・子供」で571サンプルである。

説明変数には、年齢、世帯内成人数あたり自動車保有台数、世帯内幼児数、世帯内独身数などが適用されている。

#### iii. 時間選択モデル

時間選択モデルは、自宅ベースツアーのためのモデルであり、主要ツアーを始めるための自宅発時間と帰宅するために主要目的地を出発する時間の両方を同時に予測するものとなっている。時間設定は、以下の5つの時間帯である。

- ・早朝(3:00~5:59)
- ・午前ピーク(6:00~8:59)
- ・昼間(9:00~15:29)
- ・午後ピーク(15:30~18:29)
- ・夜間(18:30~26:59)

この5つの時間帯設定により、自宅発と主要目的地発の時間帯組み合わせは15組となる。自宅ベース通勤ツアーでは「AMピーク-PMピーク」が多く、自宅ベース通学ツアーでは「AMピーク-昼間」、その他ツアーでは「昼間-昼間」の組み合わせが多い。ツアータイプと時間帯選択には密接な関係があることが報告されている。

#### iv. 目的地選択モデル

目的地選択モデルは、ツアーベースの目的地選択モデル(職場位置モデル)と、トリップベースの目的地選択がモデルに分けられ、ツアーベースの後にトリップベースの目的地選択が予測される。ツアータイプに応じて8つにセグメントされている。

#### (ツアーベース)

- ・自宅ベース通勤ツアーの主要目的地
- ・自宅ベース通学ツアーの主要目的地
- ・自宅ベース他ツアーの主要目的地
- ・勤務先ベースサブツアーの主要目的地

#### (トリップベース)

- ・自宅ベース通勤ツアーの立ち寄り場所
- ・自宅ベース通学ツアーの立ち寄り場所
- ・自宅ベース他ツアーの立ち寄り場所
- ・勤務先ベースサブツアーの立ち寄り場所

説明変数としては、OD ゾーンダミー（例えば、「O&D がともに CBD ダミー」等）、OD サービスレベル、交通手段選択のログサムなどが適用されている。サンプル数は最も少ないセグメントで 120（勤務先ベースサブツアーの立ち寄り場所）、最も多いもので 1,627 サンプル（自宅ベース通勤ツアーの主要目的地）となっている。

なお、目的地のゾーン数は 40 ゾーンに集約され、モデル推計がなされている。

#### v . 交通手段選択モデル

交通手段選択モデルは、ツアーベースでは計 6 手段、トリップベースでは計 11 手段の選択肢となっている。BAYCAST 90 が「公共交通」が一本であるのに対して、SF Model の公共交通は、トリップベースで BART<sup>(2)</sup>、MUNI<sup>(3)</sup>、プレミアム(カルトレン<sup>(4)</sup>、高速バスなど) バスの 4 手段に分けられている。

ツアーベースの手段とトリップベースの手段との関わりを表 - 1 に示す。ツアーベースの「自動車 - 運転」は、主として自動車(運転)でなされたツアーであり、トリップベースの「一人乗り運転」「2 人乗り\_\_運転」「3 人以上乗車\_\_運転」「徒歩」を内包する。

表 - 1 ツアーとトリップの交通手段関係

Trip Mode	Tour Mode					
	Driver	Walk	Bike	Passenger	Walk-	Drive-
Drive Alone	X					
Share-2	X			X	X	X
Share-3+	X			X	X	X
Walk	X	X	X	X	X	X
Bike			X	X	X	X
Walk-Local					X	X
Walk-MUNI					X	X
Walk-Premium					X	X
Walk-BART					X	X
Drive-Premium						X
Drive-BART						X

説明変数には、乗車時間、待ち時間、立ち寄り回数、ゾーン歩行環境データ(安全性、都市活力など)、費用(現金支払い)、世帯属性(世帯人数、世帯員年齢など)が適用されているが、駐車料金のような政策変数が組み込めなかったことが報告されている。なお、ツアーベースの交通手段選択モデルの適用時には、分布モデルの前であるため、交通手段選択モデルの交通サービス水準には立ち寄り先のサービス水準が反映されていない。

## 4 . おわりに

サンフランシスコ湾岸地域においては、広域行政組織が組織され、地域計画については ABAG、交通計画について MTC が、相互に関連をもちながら広域的な計画にあたっている。自治体においては、これら広域行政組織による需要予測値や計画を受け、計画を策定している。

本稿では、広域行政組織、および自治体において策定された交通需要予測モデルについて報告した。その結果、SF Model ではツアー単位のアクティビティモデルを構築しているなど、わが国の交通計画の実務では採り入れられていない先進的な手法を用いていることがわかった。レポートには、モデル構築に要した期間は構築に 1 年、検証に半年を要したことが述べられているが、基礎研究を含めた準備期間を含めると、相当な期間を要することは想像に難くない。交通計画に携わる者として、わが国の実務における新たな需要予測モデルの開発の必要性を感じられずにはいられない。

今後とも、最新の予測手法について注視していくとともに、モデルの内容についてさらに深く読み解き、また、レポートでは読みとれないモデル開発への体制などについて確認し、得た知見をパーソントリップ調査など、国内の交通計画に少しでも早く応用していきたいと考えている。

SFCTA の資料は、ヒアリング結果を手がかりに、ホームページ上で調べたものである。SF Model のレポートは、約 400 ページにも及ぶが、本稿の内容は、主に概要(エグゼクティブ・サマリー)に記述されている内容を中心に整理したものである。そのため、モデルの全体像を理解するには不十分な点が幾つかある。この点は、今後の課題としたい。

### 補注

- (1) CMP : 交通状況を改善し、自動車交通による環境影響を縮小するための計画であり、1989 年及び 1990 年にカリフォルニア議会において総括的な輸送関係法令の一部として法令化された。
- (2) BART : 湾岸地域を結ぶ高速鉄道
- (3) MUNI : ここではサンフランシスコ市交通局が運行している LRT (MUNI Metro) を指す
- (4) カルトレイン : サンフランシスコとサンノゼを結ぶ通勤用鉄道

## 謝辞

本稿は、国土交通政策研究所からの受託業務の成果を一部とりまとめたものである。調査にあたっては、桐山孝晴氏（現国土交通省国土技術政策総合研究所）をはじめとした国土交通政策研究所の方々にヒアリングの機会を与えていただいた。また、本稿を整理するにあたっては、東北芸術工科大学助教授の吉田朗先生にアドバイスをいただいた。ここに記して、これらの方々に感謝申し上げる。

## 参考文献

1) Association of Bay Area Governments (ABAG):  
The Basics of POLIS (Projective Optimization

Land use Information System), Working Paper 91-5, 1991

2) C. L. Purvis (1997), Travel Demand Model for the San Francisco Bay Area (BAYCAST-90): Technical Summary, Metropolitan Transportation Commission

3) 土木学会, 道路交通需要予測の理論と適用 第1編利用者均衡配分の適用に向けて, 2003

4) San Francisco County Transportation Authority: Sna Francisco Travel Demand Forecasting Model Development Final Report, 2002

5) カリフォルニアにおける渋滞緩和プログラム, 道路, 文献抄録, p 74 - 75, 1992年9月号

## 2003年海外出張一覧

目 的	出 張 先	出 張 者	期 間
TRB (参加発表・PI 小委員会報告)	ワシントン DC	矢嶋 宏光	1/12 ~ 1/16
IIASA ワークショップ (報告)	ウィーン	神成 陽容	1/18 ~ 1/24
ドイツにおける都市交通政策情報収集	ベルリン、デュッセルドルフ	高橋 勝美、荒井 祥郎	2/16 ~ 3/2
PI 実施事例等視察	バッファロー、ボストン、 デンバー、ラスベガス	矢島 隆、矢嶋 宏光	3/8 ~ 3/17
UITP (公共交通国際連合) 参加	スペイン、ドイツ、ベルギー	秋元 伸裕	5/4 ~ 5/13
IFHP 世界大会参加	ロンドン	黒川 洸	5/30 ~ 6/3
NCTS TSSP 10周年記念行事参加	マニラ	黒川 洸	7/9 ~ 7/12
TRB (小委員会発表) PI 業務打合せ	ポートランド、サンフランシスコ	矢嶋 宏光	7/14 ~ 7/22
ソウル市ロードプライシング調査	ソウル、プサン	毛利 雄一、高橋 勝美、 佐藤 徹治	7/28 ~ 7/31
世界の道路行政視察	東欧 (ウィーン、ブダペシュト、 ドブロニク、ザグレブ他)	国久 荘太郎、大熊 久夫	8/7 ~ 8/16
国際都市気象学会 (発表)	ロズ (ポーランド)	神成 陽容	8/31 ~ 9/6
IFHP 参加	ウィーン	黒川 洸	10/3 ~ 10/13
世界道路会議出席	ダーバン (南アフリカ)	矢島 隆、西村 巧、 趙 勝川	10/17 ~ 10/28
中国環境科学学会大気環境分会年会出席	南寧	神成 陽容	10/24 ~ 10/27
第6回日中韓 LTP プロジェクト専門家 会議出席	濟州島	神成 陽容	11/3 ~ 11/6
第10回 ITS 世界大会出席 (発表)	マドリッド	牧村 和彦、中嶋 康博	11/15 ~ 11/21
日韓都市開発協力会議 (分科会で発表)	ソウル	鈴木 奏到	11/17 ~ 11/21
NACOTA 北京会議出席 (発表)	北京	趙 勝川	12/10 ~ 12/13