

国際旅客ターミナル施設計画支援用 旅客動態分析システムの開発

Passenger Behaviour Analysis System for Terminal Facility Planning
in International Airport

山本 幸司* 谷口 康一** 木俣 昇***

by Koshi Yamamoto, Kouichi Taniguchi and Mamoru Kimata

The behaviour of passengers in airport terminal should be analysed in detail as much as possible, because it is an essential factor in design of airport terminal. This paper has proposed a computer simulation model programmed by GPSS, where some parameters such as scheduled flight time and fare class can be assigned to each passenger. The model can express both inbound passenger behaviour and outbound passenger one, and passenger behaviour under any service condition in terminal can be simulated in full-day scale.

A case study to Nagoya International Airport is discussed for demonstrating its capability and application. Moreover, this study has constructed a computer graphic system to express the results of GPSS simulation more visually.

Finally transferability of this simulation model has been examined to Fukuoka International Airport.

1. 緒言

現在我国では国際航空需要の急激な増加を反映して、新空港建設計画あるいは既存空港の拡張計画など様々な空港整備計画が全国的に展開されている。関西国際空港建設計画や中部新国際空港建設計画等はその代表といえよう。ところで近年の空港整備においては、騒音等の環境問題をクリアするだけではなく、空港利用者の利便性に関する配慮が望まれるようになってきている。¹⁾そこで本研究では国際航空旅客の利便性に特に関連の深い旅客ターミナル施設に着目し、その施設計画策定において非常に主要となる施設規模および施設配置に関する有効な計画情

報の提供を目的とした、旅客動態分析システムを開発する。なおこのシステムは、GPSS/Xを用いてターミナル内の旅客動態を分析するコンピュータ・シミュレーション用のサブシステムと、分析結果をコンピュータ・グラフィックスを用いて視覚的に表現するサブシステムとによって構成し、主として名古屋空港を対象として構築する。システムの開発にあたっては、ターミナル内の旅客動態を的確に把握するため現地調査を実施するとともに、開発したシステムに対しては可能な限りその妥当性を検討し、不適切な部分に対しては、よりシステムの精度向上を図るために独自に修正を加えていくことにした。次にこのシステムを実際に用いて、名古屋空港国際線ターミナルの施設規模・配置等に関する問題点を明らかにし、その改善策を提案するとともに、他空港への適用可能性についても検討を行う。

2. 旅客動態調査の実施

システムの開発に先立ち、旅客の来港から搭乗ま

* 正会員 工博 名古屋工業大学教授 社会開発工学科
(〒466 名古屋市昭和区御器所町)

** 正会員 工修 JR西日本㈱建設工事事務土木工事課
(〒532 大阪市淀川区西中島5-4-20)

*** 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部基礎工学教室
(〒920 金沢市小立野2-40-20)

で、および降機から去港までの動態特性に関する詳細な情報が必要であるが、過去にこの種の調査は十分に行われていない。そのため本研究では、まず第一段階として名古屋空港国際線に対して、その輸送実績、航空路線ダイヤ、旅客ターミナル内の諸特性に関する予備調査を行い、次に予備調査結果をもとに、昭和62年11月と平成元年1月に旅客動態に関する実地調査を行った。この調査項目および調査方法をまとめたものが表-1である。この調査の目的は主としてターミナル内の各検査施設における検査時

表-1 実地調査項目および調査方法
(出発旅客)

観測地点	調査項目	調査方法
ターミナル入口	到着時刻 利用航空会社 空港までのアクセス 個人、団体の別	定点観測（入口3ヶ所 におけるインタビュー 調査）
託送手荷物検査場	処理時間	定点観測（ストップウ ォッチ計時）
チェックイン カウンター前	処理時間 チェックロビーある いは出発ロビーにお ける滞留時間	定点観測（個人、団体 別ストップウォッチに よる計時） 調査票記 布（チェックイン終了 時、サンプル調査）
セキュリティ チェック前	出発ロビー到着時刻 および滞留時間、状 況	定点観測（ストップウ ォッチによる計時） 調査票回収
出国待合室内	滞留時間 チェックロビーある いは出発ロビーにお ける動態	定点観測（ストップウ ォッチによる計時） インタビュー調査（サ ンプル調査）

(到着旅客)

到着ロビー	ロビー到着時刻およ び滞留時間	定点観測（ストップウ ォッチによる計時）
-------	--------------------	-------------------------

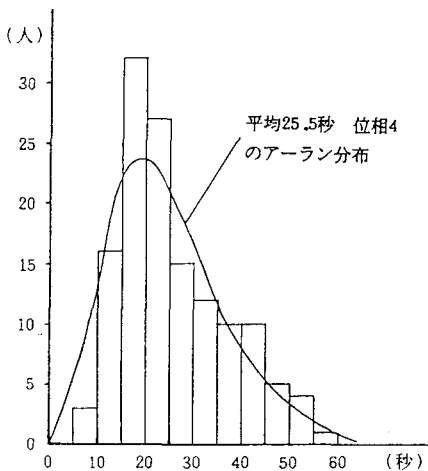


図-1 託送手荷物検査処理時間分布

間および各ロビーにおける旅客の滞留時間を把握するものである。各所要時間はシミュレーションモデルへの組み込みを前提として理論分布へのあてはめを試みた。その一例として、託送手荷物検査施設における旅客一人あたりに要する検査時間を度数分布にまとめたものが図-1であるが、この確率分布は有意水準5%で位相4のアーラン分布に近似できた。その他のサービス施設におけるサービス所要時間分布もほとんどがアーラン分布で近似できた。なお理論分布で近似できないサービス所要時間分布は、以下のシミュレーションモデル構築に際して実績データ分布をそのまま用いることにした。

3. 航空旅客動態分析システムの開発

一般に国際空港の施設能力の決定要因としては、滑走路及びエプロンといった空港基本施設が代表的に挙げられるが、旅客ターミナルのサービス能力も非常に重要である。²⁾すなわち予定される航空ダイヤに対し滑走路やエプロンに余裕がある場合でも、旅客ターミナルの施設能力が対応できなければ、各便への旅客の搭乗を円滑に行うことができず、国際空港としての機能を十分に果すことが不可能となる。しかしながら、国際空港の旅客ターミナル内にはいくつかの検査施設が配備されており、旅客が各施設を順にスムーズに移動でき、施設能力に起因する旅客の乗り遅れや突出した混雑をなくするような配慮が必要である。

本研究ではこのような問題意識に基づき、ターミナル施設計画策定にあたっての旅客動態分析の必要性を考え、第1にターミナル内の複雑な旅客動態を、来港から搭乗まであるいは降機から去港まで一貫して取扱う分析を行うこと、第2に分析結果を施設計画に対して有効な形で明確に表示することの2点を重視して、航空旅客動態分析システムの開発にあたる。まず第1点目を考えた場合には、複雑な待ち行列系の分析であることからシミュレーションによる分析が有効であると判断し、特に待ち行列系の分析に有効なシミュレーション言語であるGPSS/Xを用いることにする。³⁾しかしながらGPSS/Xを用いた場合には、分析結果の出力形式がある程度限定されるため、先述した2点目に対応すべく、シミュレーション分析結果を視覚的に表示するためのシステムを開発することにし、前者を旅客動態分析用

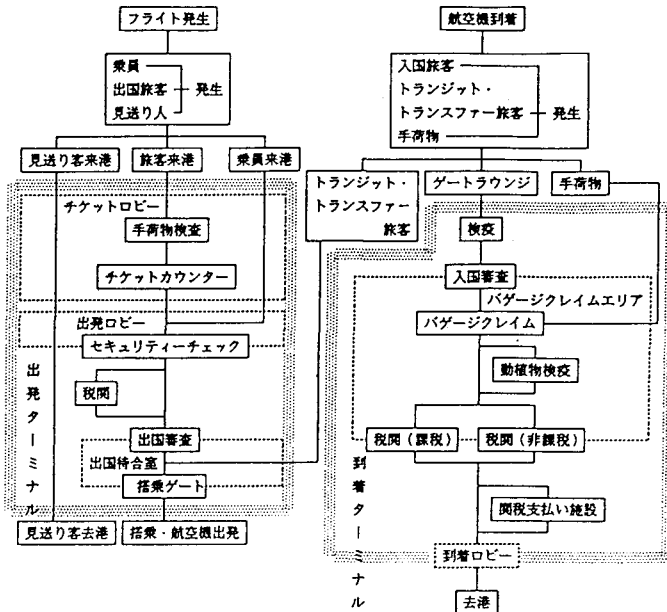


図-2 旅客の流動フロー図

シミュレーションシステム、後者を旅客動態分析用コンピュータ・グラフィクス表示システムと呼ぶことにした。

(1) 旅客動態分析用シミュレーションシステム

これは図-2に示すような旅客の来港から搭乗あるいは降機から去港までの流動を一貫して取扱い、かつ出発旅客と到着旅客の流動を同時に分析可能とするシステムで、そのフローチャートを示したものが図-3である。旅客ターミナルにおける航空旅客動態分析モデルの開発は国内では見当たらないが、海外では Richard らの研究がある⁵⁾。しかし、いずれも出発と到着を同時に扱えなかったり、航空機の離着陸と連動していないという問題点があった。それに対してこのシステムはGPS/S/Xでプログラム化され、航空ダイヤ編成、旅客数、各検査施設のサービス開始時刻等を任意に設定でき、各検査施設における平均検査時間や最大待ち行列人数、あるいは各ロビーにおける平均滞留時間やピーク時滞留人数等が一定の形式で数値出力されるという特徴がある^{6) 7)}。なおシミュレーション時間は、想定する状況によっても異なるが、最混雑曜日の全便満席状態を想定した全日のシミュレーションでもCPUタイム約7分以下（名古屋大学大型計算機センターのFACOM M382を利用）であり、実用上問題はな

いと考えられる。

ところでシミュレーション分析に際しては、モデルの妥当性の検証が重要である⁸⁾。そこで本研究ではこのモデルに対し、旅客動態調査時と同内容の場面設定を行った場合に、調査当日の待ち状況を再現できるか否かによってモデルの妥当性を検討した。その一例を示すためにセキュリティチェック施設前における待ち行列長の時間的推移を示したのが図-4である。これを見ると、調査当日と同じ状況がほぼ再現されていることがわかる。この他にもいくつかの点について同様な検討を実施した結果、今回開発した旅客動態分析用シミュレーションモデルは妥当であると判断された。

なおこのシステムの実行結果の一部

分はデータファイルとして出力され、次に述べる旅客動態分析用コンピュータ・グラフィクス表示システムで用いるデータとなる。

(2) 旅客動態分析用コンピュータ・グラフィクス表示システム（CG表示システム）

このシステムでは、(1)で開発したシミュレーションシステムによるシミュレーション実行結果のうち、滞留客数および待ち行列人数等に関するデータを一度ファイルに落とし、パーソナルコンピュータのCG機能を用いてターミナル内の旅客動態を表示可能としている。プログラミングにおいてはその簡便性からBASICを用いており、ディスプレイ画面上でターミナル内での混雑状況を任意の時間間隔（今回は5分間隔）で連続的に表示することによりアニメーションを展開する。また必要に応じて各ロビーにおける滞留客数および混雑度の時系列変化、あるいは各検査窓口における時刻ごとのおおよその待ち時間等をディスプレイ表示する。なおディスプレイ画面の大きさと、必要とするデータの数から、今回は出発旅客用と到着旅客用にそれぞれ別のモデルを構築している。このディスプレイ表示例として、出発ターミナルと到着ターミナルの一例を示したのが図-5、図-6である。図中、各ドットは一人一人の旅客の動きを表している。

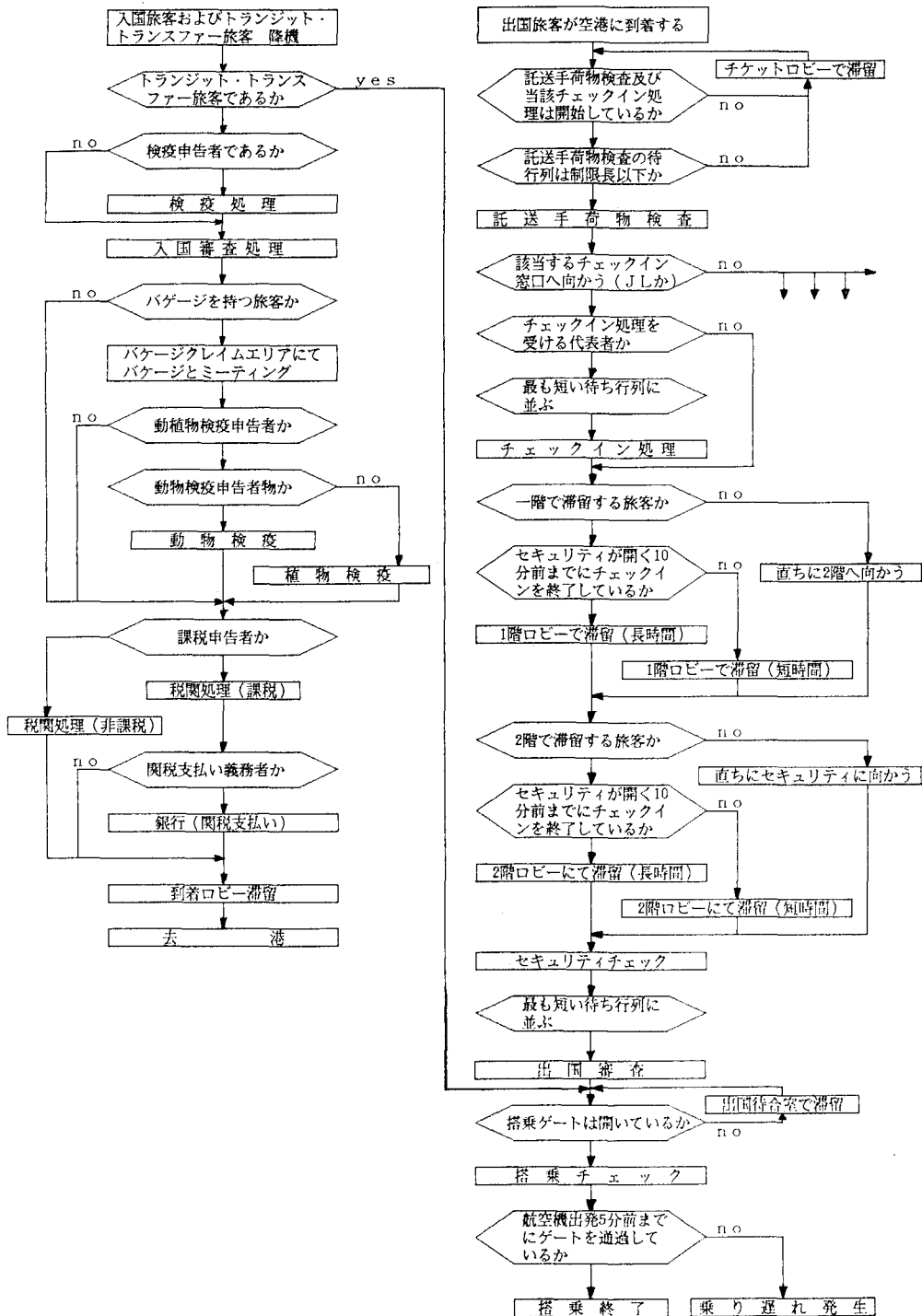
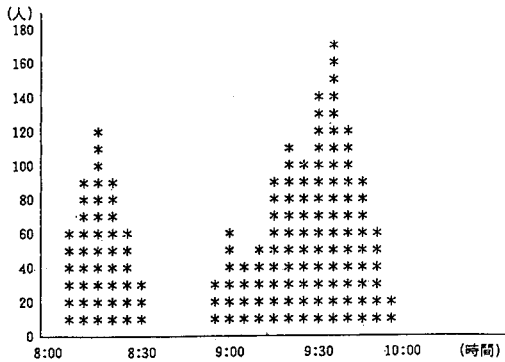
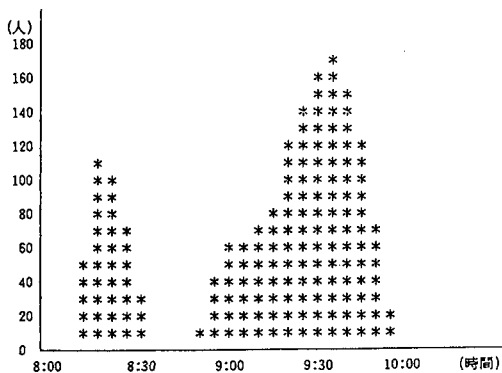


図-3 シミュレーションモデルのフローチャート



調査結果



シミュレーション結果

図-4 セキュリティチェック前の待ち行列長

4. 名古屋空港国際線ターミナルに関する分析結果とその考察

本研究で開発した航空旅客動態分析システムを用いて、実際に旅客ターミナルの施設規模、配置等に関する検討を行うため、名古屋空港国際線ターミナルについて数々のケースを想定してシミュレーション分析を実施する。ここでは紙面の都合上そのうちのいくつかについて示す。

(1) 出発ターミナルに関する考察

名古屋空港国際線ターミナルは平成元年7月に拡張工事を終え、出発ターミナル部分がかなり拡張されている。特に出国待合室はピーク時旅客1000人に対応すべく、従来の約3倍のスペースに拡張された。また出国待合室の入口部分にあたるセキュリティチェック施設も従来より1基増設され2基の同時稼働が可能となった¹⁰⁾。このような名古屋空港の国際線旅客ターミナル施設規模に関し、出発便が最も集中す

る月曜日(10:00~11:40に5便集中)の航空ダイヤ編成との関連について検討を行うために以下のような想定で分析を実施する。

- ① 5便が同時刻(10:00)に出発するケース
- ② 5便が10分間隔で出発するケース
- ③ 5便が20分間隔で出発するケース(その1)
- ④ 5便が30分間隔で出発するケース
- ⑤ 5便が20分間隔で出発するケース(その2)
- ⑥ 現在の名古屋空港国際線ダイヤのピーク時5便の出発を示すケース

なお、①②③④⑤の各ケースで設定した旅客数は、現名古屋空港国際線のダイヤで最も多く使用されているDC10やB767等の標準座席数とほぼ同じ270名とし、⑥のケースでは表-2に示す標準座席数分とした。また①②③④⑥の各ケースでは、セキュリティチェックの開始時刻は最初の出発便の1時間30分前からすべての便の旅客に対して実施されるものとし、⑤のケースでは各便の出発1時間30分前からそれぞれの便の旅客に対して実施されるものとした。

これらのシミュレーション結果として、まず表-3に各ロビーにおけるピーク時の滞留客数を示す。この表からはどのケースも出国待合室の混雑が著しいこと、全てのロビーの混雑度がピーク時でも100%以下となるためには出発便に約30分の間隔が必要であることなどがわかる。しかしながら③のケースと⑤のケースを比べると、セキュリティチェックの開始時刻を各便ごとにずらすことにより各ロビーの混雑状況もかなり変化し、混雑解消の一方策となることがわかる。このことをより詳しく検討するために③と⑤のケースの各ロビーの混雑度の時系列変化を示したのが図-7および図-8である。なお表-2と表-3の⑥のケースをみても、名古屋空港国際線ターミナルは拡張されたにもかかわらず、ピーク時には施設に余裕のないことが分かる。

(2) 到着ターミナルに関する考察

到着ターミナルは今回の拡張工事の対象にならず、従来のままの施設を供用している。この到着ターミナルにおいて最も待ち現象を生じやすいのは税関検査施設であり、到着便が連続する場合には、ここでの待ち時間は非常に長くなることが多い。しかしここでの待ち現象は、この施設の一つ手前の施設であるバゲージクレイムエリアにおける託送手荷物の受

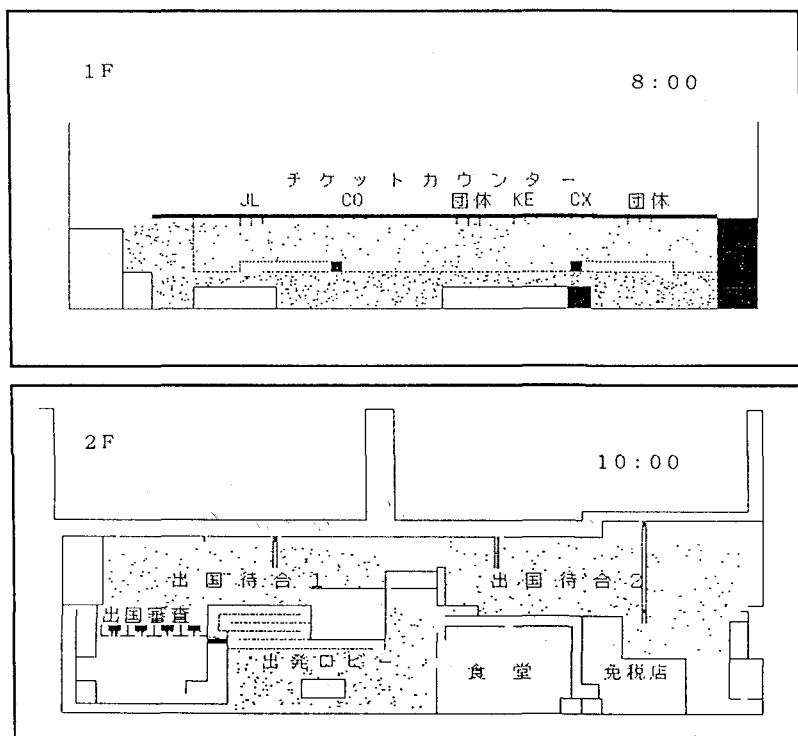


図-5 出発ターミナルのCG表示画面

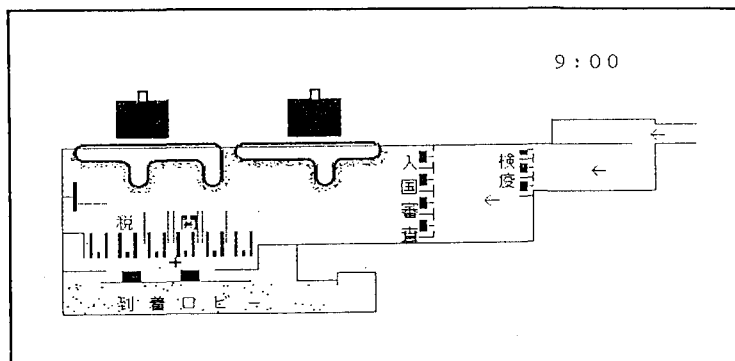


図-6 到着ターミナルのCG表示画面

け渡し状況と関係があると考えられるため、それを明らかにすべく以下のような想定で分析を実施する。

- ① バゲージクレイムエリアにおける託送手荷物の出現間隔が2.5秒（名古屋空港の実績値）であることを想定したケース
- ② 同1秒であることを想定したケース
- ③ 同2秒であることを想定したケース
- ④ 同3秒であることを想定したケース
- ⑤ 同4秒であることを想定したケース

これらのシミュレーション結果として、各ケースのバゲージクレイムエリアにおける旅客の滞留時間と税関における待ち状況をまとめたものを表-4に示す。これをみると、当然のことながら託送手荷物の出現間隔が短縮されるほどバゲージクレイムエリアにおける旅客の滞留時間は短縮されるが、次の施設である税関においては検査待ちの状況が悪化していることがわかる。また逆に託送手荷物の出現間隔が長くなるにしたがってバゲージクレイムエリアにおける旅客の滞留時間も長くなるが、税関における検査待ちはあまり発生しなくなることとわかる。さらに託送手荷物の受け渡しから税関検査を受けるまでのトータルタイムでみると、②のケースは⑤のケースに比べ約8分短くなることがわかる。

以上に述べたように託送手荷物の受け渡しが短時間で完了する場合と、比較的長時間を要する場合では、到着旅客が次に進

む施設である税関における検査待ちの状況がかなり変化する。そのため到着便からの託送手荷物の荷下ろし作業および運搬作業の効率に関する配慮が望まれる。特に、現在の名古屋空港ではターミナルビルの奥行きが狭く、税関窓口とその後方にあるバゲージ・ターンテーブルの距離があまりないため、税関における待ち行列長をある程度におさえることが必要である。また旅客の立場から考えて、どの施設における待ちを短縮すべきかなども検討の余地があると考えられる。

表-2 シミュレーション⑥の設定ダイヤ

出発時刻	便番号	機種	座席数
10:00	KE767	A300	281
10:05	JL705	B767	270
10:10	CX531	L1011	286
10:15	JL983	B767	270
10:40	C0970	DC10	270

表-3 各ロビーにおけるピーク時の滞留人数 (単位:人)

	CAPACITY	①	②	③	④	⑤	⑥
チケットロビー	810	900	725	425	323	475	778
出発ロビー	350	393	273	170	132	193	321
出国待合室	1000	1350	1330	1195	892	977	1361

注: CAPACITYは現在の出国待合室が航空旅客1000人に対応する施設規模であることを考慮して想定した値である。

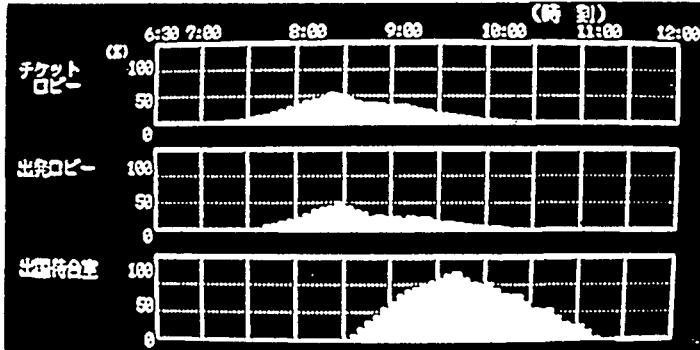


図-7 ケース③の各ロビーにおける混雑度の時間変化

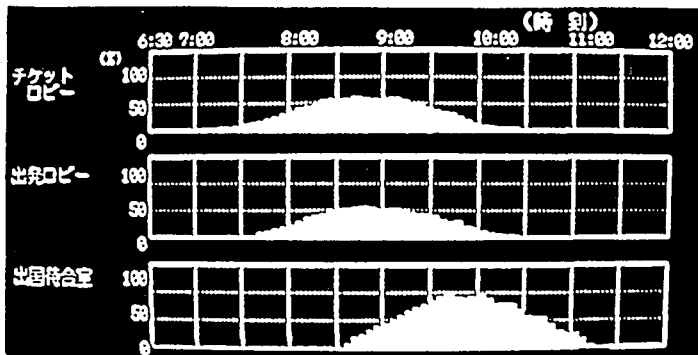


図-8 ケース⑤の各ロビーにおける混雑度の時間変化

(3) 待ち現象に対する評価

本研究では上述したように出発・到着に分けてターミナル内の待ち現象の分析を行ったが、ターミナル内の各検査施設における待ち現象を、単に待ち時間をもとにして一様に扱うことには無理がある。すなわち、国際線の旅客は一般に、できる限り早く出国手続きを終えたい、あるいは手荷物をできる限り早く解放したいという意識が働くため、各検査施設における待ちの内容に対して重みをつけて評価することが必要である。この重みづけの具体的な方法としては、別途に旅客の意向調査を行う必要があるが、

この重みを決定することができれば、本研究のシミュレーションシステムを用いることにより、国際線旅客ターミナル内の待ち現象に対するより総合的な評価を行うことが可能である。つまりターミナル内の各施設における待ちによる負の便益 W を

$$W = \sum w_i \times t_i \times n$$

W : 便益損失

w_i : i 番目の検査施設の待ちの重み

t_i : i 番目の検査施設における平均待ち時間

n : 施設利用人数

と定義すれば、これを用いてターミナル内の各施設における待ち現象を評価することが可能となる。

5. 他空港への適用可能性の検討

今回航空旅客動態分析システムの開発にあたっては名古屋空港国際線を対象として、その特

性を盛りこんだシステムの開発を行った。しかしこのシステムが他の国際空港に対しても適用可能ならばその利用価値は大きい。そこで名古屋空港と規模がほぼ等しい福岡空港を例に取り、この件について検討を行うことにした。福岡空港国際線ターミナルにおける旅客動線は名古屋空港とほぼ同様であるため、シミュレーションシステムの修正は各検査窓口数、各ロビーの規模、各種申告率、航空ダイヤ等に関連した部分のみで十分となった。

ここでは紙面の都合上、福岡空港国際線の出発ターミナルに関する分析結果の一部分のみを表-5に

表-4 バゲージクレームでの旅客の滞留時間と税関の待ち状況

		①	②	③	④	⑤
バゲージクレームにおける平均滞留時間		20' 10"	13' 42"	18' 08"	22' 33"	27' 27"
税関 非課税 申告者 対象	平均待ち 時間	1' 27"	5' 10"	2' 12"	0' 57"	0' 21"
	最大待ち 行列人数	22	53	33	14	3

表-5 両空港におけるピーク時の滞留人数

	ピーク時滞留人数	
	福岡空港	名古屋空港
チケットロビー	567 (59.2%)	766 (94.6%)
出発ロビー	492 (80.5%)	301 (86.0%)
出国待合室	944 (307.5%)	1114 (111.4%)

注：カッコ内は名古屋空港出国待合室のCAPACITYを1000人で100%とした場合の混雑度

示す。これは名古屋空港国際線のピーク時ダイヤ編成を想定したケースであるが、出国待合室が他のロビーに比べて極端に狭いために、ここがボトルネックとなっていることがわかる。そのため福岡空港では、出国待合室の拡張が急務となるが、現段階ではセキュリティチェックの開始をできるかぎり遅らせる等の対処が必要と考えられる。なお旅客動線に関連する各検査施設の配置パターンが異なる空港に対しても、部分的なプログラム修正のみで適用可能である。

6. 結言

本研究は国際空港の旅客ターミナル施設計画の決定に際し、有効な計画情報を与える航空旅客動態分析システムの開発を目的とした。これに対し今回はまず名古屋空港を対象としてGPS S/Xを用いた旅客動態分析用シミュレーションシステムと、BASICを用いた旅客動態分析用CG表示システムという2つのサブシステムからなる航空旅客動態分析システムを開発した。そしてこのシステムを実際に用いて名古屋空港国際線ターミナルに関する検討を行った結果から、本研究で開発した航空旅客動態分析システムにより、ターミナル施設計画の計画情報として有効な、数々の情報が得られることが明らかとなった。また、このシステムを福岡空港国際線に適用した結果から、他の空港に対しても若干のデータ変更により、十分に適用可能であることが示された。

今後の課題としては、本研究ではハードウェアの関係上、2つのサブシステムに分けざるを得なかったが、シミュレーションの実施とCG表示が連動するようなシステムの開発と、各施設での待ち状態の評価方法の検討が考えられる。

【参考文献】

- 1) 「世界の空港」特別号, Airport Review, No.69, 国際空港ニュース社, 1989
- 2) International Air Transport Association: Airport Terminals Reference Manuals, 6th edition
- 3) 日本電気情報教育部編: シミュレーションプログラミング入門, 日本能率協会, 1969
- 4) Richard Deighton: Passenger Behaviour and Expectations at an Airport, Design for Passenger Transport, pp.39~43, 1979
- 5) Shokri Z. Selim: Simulation of Traffic of Passengers Arriving, Modeling and Simulation, Vol.12, Part4, PP.1323~1329, 1981
- 6) 安達義浩, 谷口康一, 山本幸司: 旅客ターミナル施設計画支援用航空旅客動態分析モデル, 土木学会第44回年次学術講演会概要集第4部, pp.266~267, 1989
- 7) K.Yamamoto, N.Kimata: Passengers Behaviour Analysis in Airpot for its Facility Design by Using GPSS, Proc.of 3rd International Conference on Computing in Civil Engineering, Vol.2, pp.763~770, 1988
- 8) 中西俊男: シミュレーションの発想, 講談社, 1982
- 9) 矢矧清一郎: パソコン・グラフィックスの基礎, ラジオ技術社, 1983
- 10) 名古屋空港協議会: NAGOYA空港ハンドブック, 1986,1988,1989