

航空機・新幹線の最適乗継案内システム

加藤誠巳 高木啓三郎

上智大学理工学部

わが国における代表的な公共交通機関である航空機並びに新幹線を利用して、与えられた任意の2地点間の時間的な効率の最も良い最適乗継ぎ系列の探索を行うシステムについて述べている。

本システムは、第1最適系列のみならず一般に第k最適系列の探索が可能であり、また途中での宿泊を許容した経路の探索を行うことができる。対象としたのは、不定期便・臨時列車を除く国内航空路1041便、新幹線413列車であり、効率的な探索手法ならびに効率的なメモリ使用法の採用により本システムは16ビットのパーソナルコンピュータ上で動作し、計算所要時間は数十通りの最適系列を求める場合でも高々20秒程度である。

An Optimal Transfer Sequence Scheduling System for the Airline and the Shinkansen Passengers

Masami KATO, Keizaburo TAKAGI
Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of
Science and Technology, Sophia University
7-1, Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102 Japan

Recently the airline and the Shinkansen networks which are the representative rapid transportation facilities in Japan have made remarkable progress. The timetables, however, have become so complicated that a casual passenger cannot easily find the optimal sequence of train or flight connections from his origin to his destination.

In this paper a system which provides not only the optimal but also the alternative schedules are proposed using a 16-bit personal computer.

1. まえがき

わが国における代表的な公共交通機関である航空機並びに新幹線は地方空港の整備・新設、新路線の拡充、便の増発等により近年来著しい発達を遂げている。利用者はこれらの交通機関を適当に乗り継ぐことによりほぼ全国的な規模での高速移動が可能となった。しかしその反面、時刻表は益々複雑化しつつあり、利用者が一見して目的地へ最も速く到着する系列を見いだすことが困難である場合も少なくない。

筆者らはこれらの探索を計算機を用いて行わせようという試みを従来から行ってきたが〔1〕,〔2〕、それらのシステムにはいくつかの問題点があった。例えば、航空機と新幹線の両方の乗継ぎを許容するとメモリの制約から大型計算機上でしか動作しなかったり、途中での宿泊を許容した経路の探索を行うと、乗継ぎ可能な便の数が増大するため極めて多数の組合せが生じ、時には数十万通りという意味のない解が発見されることがあった。

ここでは、航空機と新幹線の両方の乗継ぎを許容し、途中での宿泊を許容した経路の探索を効率よくおこなうパーソナルコンピュータ上で動作するシステムを開発したので御報告する。

2. 最適乗継ぎ系列の定義

図1は出発地A、目的地C、出発希望時刻を9:00としたときのダイヤの例を示す。このとき第1最適乗継ぎ系列を次の様に定義する。すなわち、出発地を出発希望時刻以降に出発し、目的地へ最も早く到着する系列の中で出発地を最も遅く出発する系列をいう。図1の例では、第1最適乗り継ぎ系列は A—(便3)—>B—(便2)—>Cとなる。

次に、第2最適乗継ぎ系列以降の第k最適乗り継ぎ系列は一般的に第k-1最適乗継ぎ系列の出発時刻以降に出発地を出発し、もっとも早く目的地へ至る系列の中で出発地を最も遅く出発する系列をいう。即ち図1の例では第2最適乗継ぎ系列はA—(便4)—>Cとなる。

本システムでは、目的地への第1最適乗継ぎ系列の到着時刻に関し、探索余裕時間を設定することが可能である。この探索余裕時間とは、第1最適乗継ぎ系列の目的地への到着時刻以降、何時間後の目的地への到着便まで探索を行うかをいう。従って余裕時間を24時間とすればある出発地からある目的地へ至る時間的損失のない最適乗継ぎ系列を総て求めることが可能である。これにより到着希望時刻を指定した解も実質的に求まることになる。

次に、あるnに対して第n最適乗継ぎ系列の解の候補が複数個存在する場合について説明する。図2は、出発地D、目的地H、出発希望時刻9:00としたときのダイヤの例である。

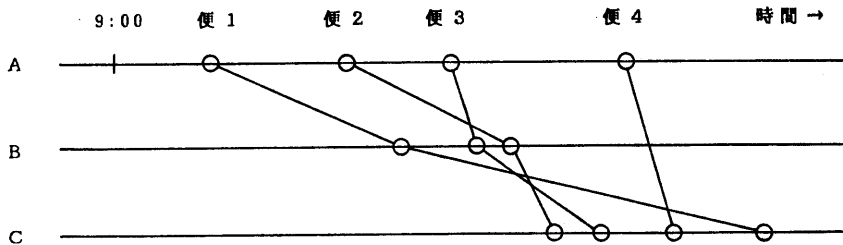


図1 ダイヤの例1

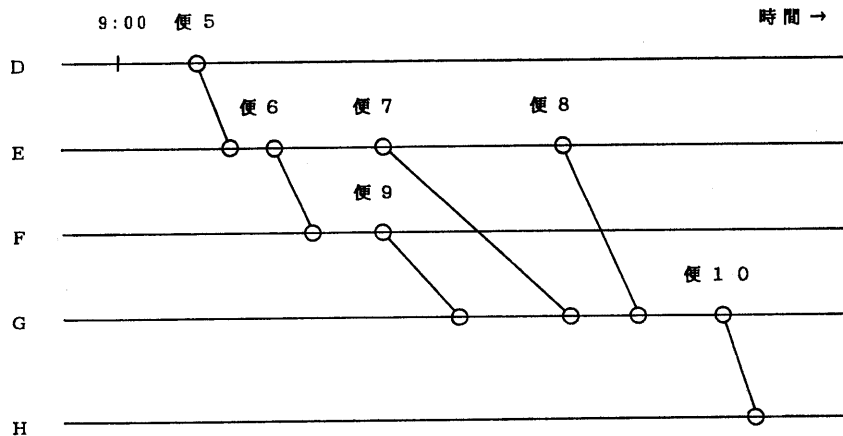


図2 ダイヤの例2

この例では可能な乗継ぎ系列は次の3通りである。

- 第1系列 D -- (便5) --> E -- (便6) --> F -- (便9) --> G -- (便10) --> H
- 第2系列 D -- (便5) --> E -- (便7) --> G -- (便10) --> H
- 第3系列 D -- (便5) --> E -- (便8) --> G -- (便10) --> H

この場合、本システムでは乗継ぎ回数が最小のもののみを最適乗継ぎ系列として採用し、乗継ぎ回数と同じ場合には乗っている時間が少ない系列から順に順序付けて提供している。従ってこの場合、第1系列は乗継ぎ回数が3回で、他の系列より多いため最適乗継ぎ系列の候補から除外され、第2系列と第3系列のみが残るが、第3系列の方が乗っている時間が少ないので第3系列、第2系列の順で提供されることになる。

3. 最適乗継ぎ系列探索の手法

本節では最適乗継ぎ系列探索の手法について具体的に述べる。我々の採用した最適乗継ぎ系列探索の手法は時間的シミュレーション部と最適乗継ぎ系列の手繰り部の2つの部分より成り立っている。

(I) 時間的シミュレーション部

時間的シミュレーション部では、現在時刻を出発時刻から順々に進めて行き、次々と便を発着させるシミュレーションを行っている。ここでは図3に示す時刻表を考慮したネットワークモデルを例にとって説明する。図3において、 $L_1 \sim L_{28}$ の28本のリンク(便)が存在し、リンクは図示のように出発時刻および到着時刻を属性として有している。また、1~3、O、Dはそれぞれ空港あるいは駅に相応するノードで、出発地はO、目的地はD、出発希望時刻は9:00であるものとする。また、各ノードで他の便に乗り換える場合は一律30分の移動・手続時間を必要とするものと仮定する。この様な条件のもとで時間的シミュレーションを行うとリンク(便) L_i に対し「出発地Oにおける最遅出発時刻」が求まるがこれを T_i で表すことにする。

図3を用いて時間的シミュレーションを行うに先立って、まず、全ての便について到着時間順および出発時間順にソートしたテーブルをそれぞれ用意する。このソートは、システムの立ち上げ時に1回行うだけでよく、テーブルは静的なもので変化しない。この2つのテーブルを表1(a)、(b)に示す。

時間的なシミュレーションの実行時にはこれらソートされたテーブルを時刻の早い順に到着順テーブル、次いで出発順テーブルの順番に見て行き、便を到着あるいは出発させることになる。そして到着地*i*毎に到着する便に相応するリンクを「出発地Oにおける最遅出発時刻」

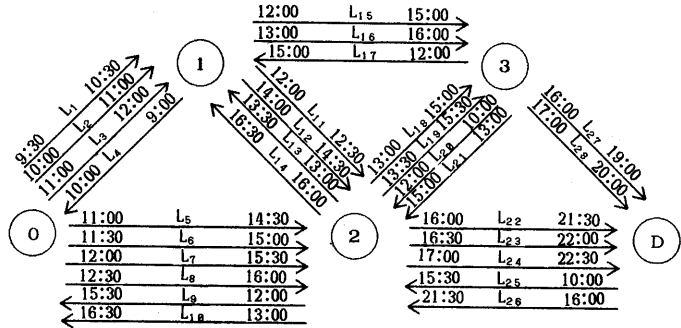


図3 時刻表を考慮したネットワーク

表1 (a) 到着時間順にソートされたテーブル (b) 出発時間順にソートされたテーブル

順	リンク	時刻
1	L 4	10:00
2	L 1	10:30
3	L 2	11:00
4	L 3	12:00
5	L20	"
6	L11	12:30
7	L13	13:30
8	L 5	14:30
9	L12	"
10	L 6	15:00
11	L15	"
12	L17	"
13	L18	"
14	L21	"
15	L 7	15:30
16	L 9	"
17	L19	"
18	L25	"
19	L 8	16:00
20	L16	"
21	L10	16:30
22	L14	"
23	L27	19:00
24	L28	20:00
25	L22	21:30
26	L26	"
27	L23	22:00
28	L24	22:30

順	リンク	時刻
1	L 4	9:00
2	L 1	9:30
3	L 2	10:00
4	L20	"
5	L25	"
6	L 3	11:00
7	L 5	"
8	L 6	11:30
9	L 7	12:00
10	L 9	"
11	L11	"
12	L15	"
13	L17	"
14	L 8	12:30
15	L10	13:00
16	L13	"
17	L16	"
18	L18	"
19	L21	"
20	L19	13:30
21	L12	14:00
22	L14	16:00
23	L22	"
24	L26	"
25	L27	"
26	L23	16:30
27	L24	17:00
28	L28	"

の遅い順に並べたリスト「到着(i)」を形成する。以下に、着・発事象の生じる様子をステップを追って示す。

<ステップ1> $t = 9:30$

この時刻において初めて出発地0から便が出発することになる。

L_1 、0を出発 $T_1 = 9:30$

<ステップ2> $t = 10:00$

L_2 、0を出発 $T_2 = 10:00$

<ステップ3> $t = 10:30$

L_1 、1に到着 到着(1) = $\{ L_1 \}$ ^(9:30)

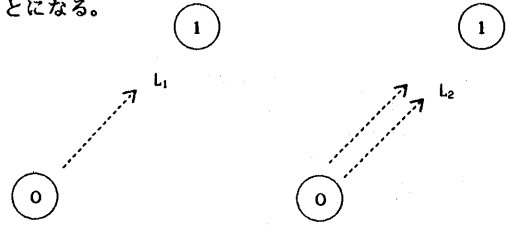
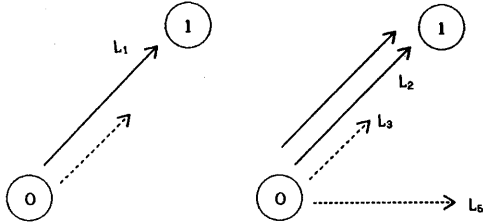


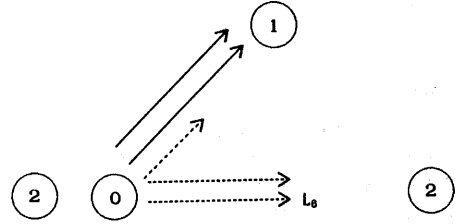
図4 (a) ステップ1

(b) ステップ2



(c) ステップ3

(d) ステップ4



(e) ステップ5

<ステップ4> $t = 11:00$

L_2 、1に到着 到着(1) = $\{ L_2, L_1 \}$ ^{(10:00) (9:30)}

L_3 、0を出発 $T_3 = 11:00$

L_5 、0を出発 $T_5 = 11:00$

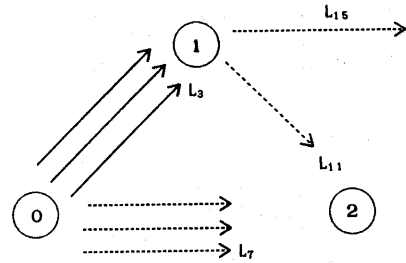
<ステップ5> $t = 11:30$

L_6 、0を出発 $T_6 = 11:30$

<ステップ6> $t = 12:00$

L_3 、1に到着 到着(1) = $\{ L_3, L_2, L_1 \}$ ^{(11:00) (10:00) (9:30)}

L_7 、0を出発 $T_7 = 12:00$



(f) ステップ6

ここで L_{11} が1を出発可能かどうかは次のようにして調べられる。まず、既にノード1に到着している便のリストの要素を先頭から順にみてゆき乗り換え可能な便が存在するときはその便により L_{11} は出発し、存在しない場合は L_{11} は出発しない。この場合、先頭の L_3 は1への到着時刻は12:00であるため L_3 から L_{11} への移動・手続き時間は0分となり乗り換えはできない。次の L_2 は1へ11:00に到着しているため乗り換え可能である。よって、

L_{11} 、 L_2 により1を出発 $T_{11} = 10:00$

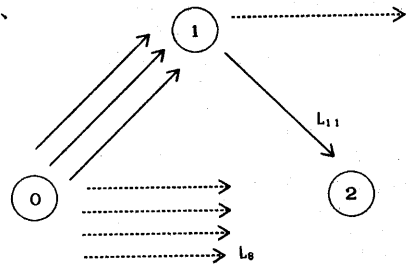
同様にして、

L_{15} 、 L_2 により1を出発 $T_{15} = 10:00$

<ステップ7> $t = 12:30$

L_{11} 、2へ到着 到着(2) = $\{ L_{11} \}$ ^(10:00)

L_8 、0を出発 $T_8 = 12:30$



(g) ステップ7

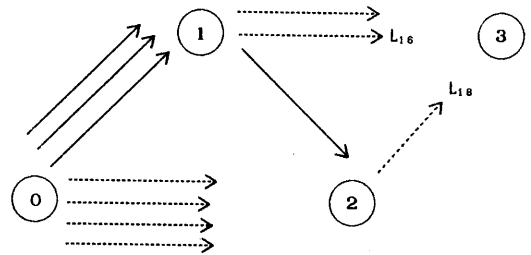
<ステップ8> t=13:00

L₁₆、L₃により1を出発 T₁₆=11:00

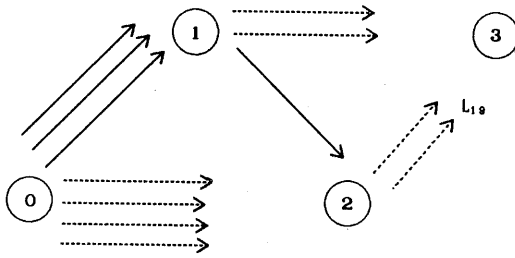
L₁₈、L₁₁により2を出発 T₁₈=10:00

<ステップ9> t=13:30

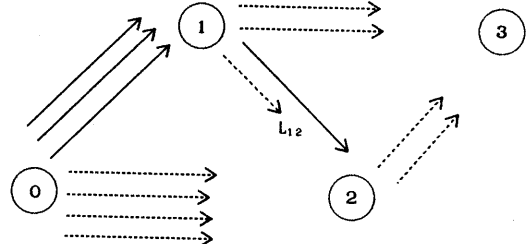
L₁₉、L₁₁により2を出発 T₁₉=10:00



(h) ステップ8



(i) ステップ9



(j) ステップ10

<ステップ10> t=14:00

L₁₂、L₃により1を出発 T₁₂=11:00

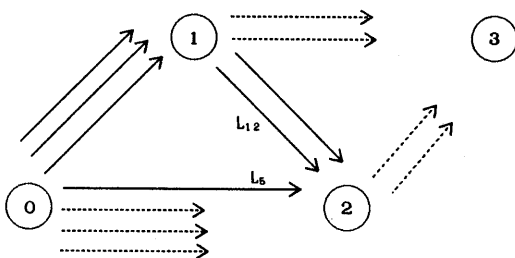
<ステップ11> t=14:30

L₅、L₁₂、2へ到着 到着(2) = { L₁₂、L₅、L₁₁ }

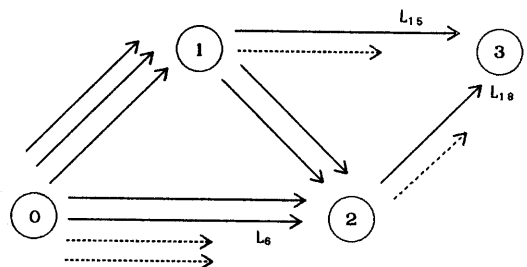
<ステップ12> t=15:00

L₆、2へ到着 到着(2) = { L₆、L₁₂、L₅、L₁₁ }

L₁₅、L₁₈、3へ到着 到着(3) = { L₁₈、L₁₅ }



(k) ステップ11



(l) ステップ12

<ステップ13> t=15:30

L₇、2へ到着 到着(2) = { L₇、L₆、L₁₂、L₅、L₁₁ }

L₁₉、3へ到着 到着(3) = { L₁₉、L₁₈、L₁₅ }

<ステップ14> t=16:00

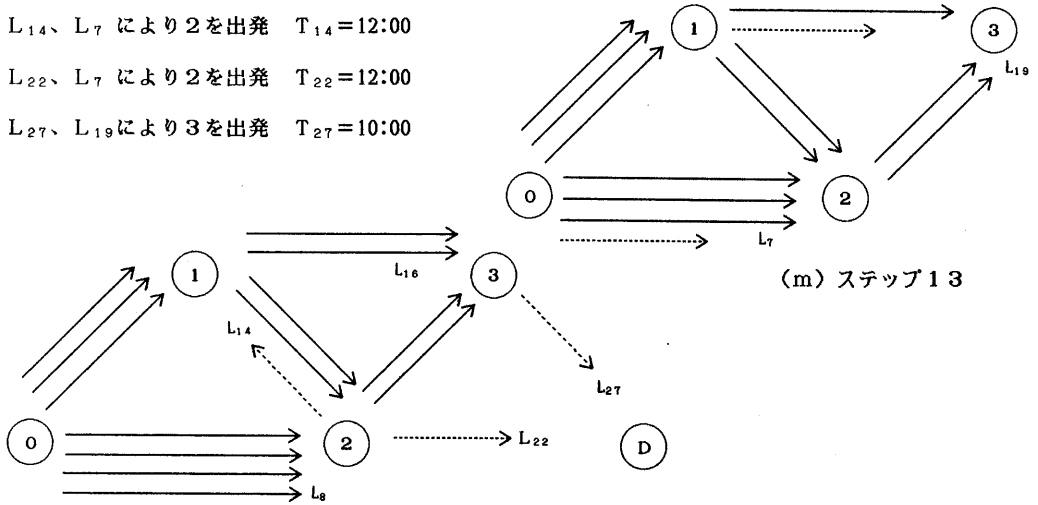
L₈、2へ到着 (12:30) (12:00) (11:30) (11:00) (11:00) (10:00)
 到着(2) = { L₈、L₇、L₆、L₁₂、L₅、L₁₁ }

L₁₆、3へ到着 (11:00) (10:00) (10:00) (10:00)
 到着(3) = { L₁₆、L₁₉、L₁₈、L₁₅ }

L₁₄、L₇により2を出発 T₁₄=12:00

L₂₂、L₇により2を出発 T₂₂=12:00

L₂₇、L₁₉により3を出発 T₂₇=10:00



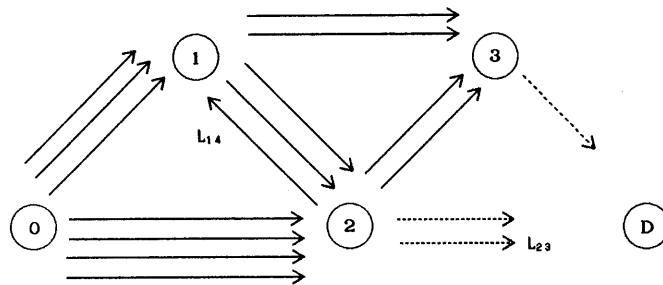
(m) ステップ13

(n) ステップ14

<ステップ15> t=16:30

L₁₄、1へ到着 (12:00) (11:00) (10:00) (9:00)
 到着(1) = { L₁₄、L₃、L₂、L₁ }

L₂₃、L₈により2を出発 T₂₃=12:30



(o) ステップ15

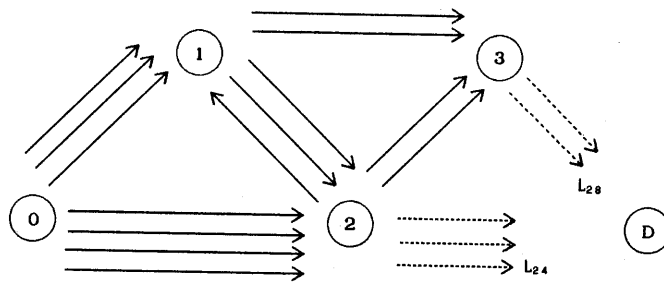
<ステップ16> t=17:00

L₂₄、L₈により2を出発 T₂₄=12:30

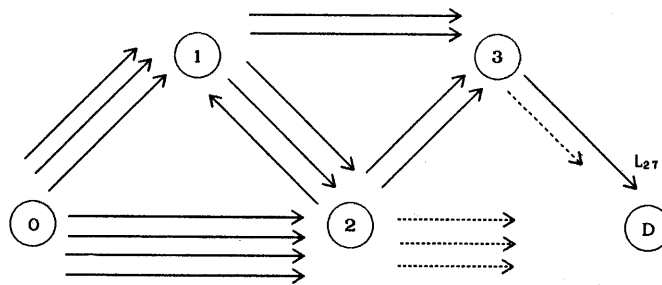
L₂₈、L₁₆により3を出発 T₂₈=11:00

<ステップ17> t=19:00

L₂₇、Dへ到着 (10:00)
 到着(D) = { L₂₇ }



(p) ステップ 16



(q) ステップ 17

以上、17ステップにより目的地Dへの到着便が生じた。時間的シミュレーション部では、ただ単に出発地から波が拡散する如く、時間的に早いものから順々に便を発着させるシミュレーションを行っているだけで、系列の最適化や途中通過地点の組合せの評価は一切行っておらず、また、どのような経路を辿ったかも明確化していない。これらの処理は、すべて次に述べる最適系列の手繰り部において行っている。

(II) 最適系列の手繰り部

前述の例では、時間的シミュレーションによって、 $t = 19:00$ に目的地Dに便が到着したことが示された。最適系列の手繰り部では、目的地Dへの到着便 L_{27} から逆に出発地に向かって乗り継いだ便を手繰って行くことにより最適な系列を陽的なものとし、併せて、冗長経路の削除を行っている。まず、時間的シミュレーションによってどのような情報が生成されたかを考える。

図5(a)は、出発してしかも到着した便(出発したが未だ到着していない便は除く)に関してのインスタンスを示している。すなわち、ある便があるノードを出発した場合には必ずその便の出発を可能とした当該ノードへの到着便が存在し、この到着便のことをここではインスタンスと呼ぶ。このインスタンスは1つの出発便に対して必ずしも1つではなく、例えば図5(a)においては、 L_{27} がノード3を出発する場合の直接のインスタンスは L_{19} であるが、 L_{15} 、 L_{18} も L_{27} のインスタンスである。これは、前述のシミュレーションで作成されたノード3への到着便のリスト、すなわち

$$\text{到着(3)} = \{ L_{16}, L_{19}, L_{18}, L_{15} \}$$

の順序、および出発地0の最遅出発時刻 T_1 に関係している。つまり、直接のインスタンス L_{19} 以降、 T_1 が同一のものはすべてインスタンスと見なすことができる。この関係は出発地0以外の全てのノードにおいて成り立つ。

このようなインスタンスのうち、最適系列の候補と見なせるものを逆に目的地Dから示すと図5(b)のようになる。図5(b)からも明らかなように出発地0から目的地Dへ至る最適系列の候補として3通りの解が存在するが、ここでは乗継ぎ回数のもっとも少ないもののみを最良優先探索法(Best First Search Method)を用いて探索し最適系列として提供している。また、最適系列が複数個ある場合には、乗っている時間の合計が最も少ないものから順位を付けて提供する。結局、求める第1最適系列は次のようになる。

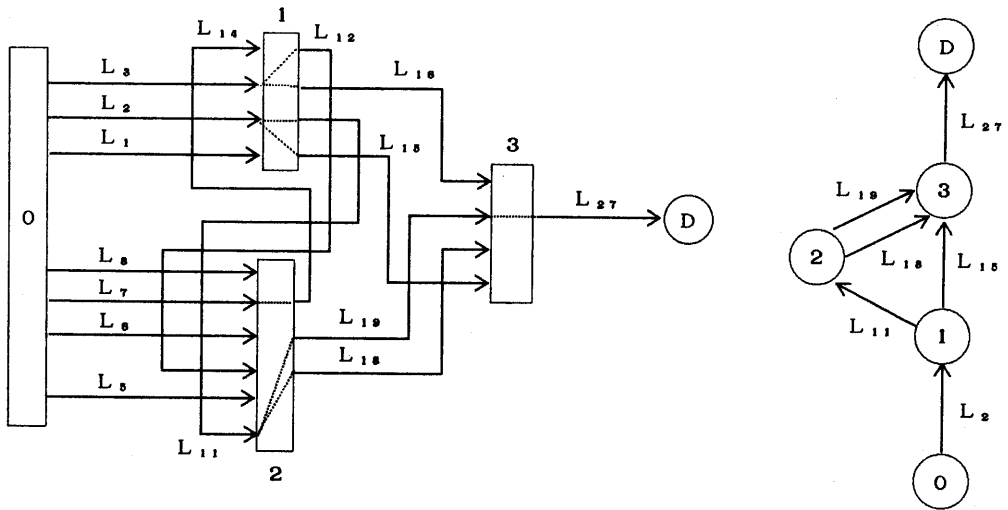
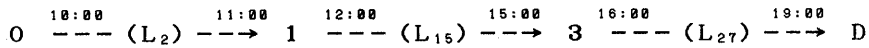
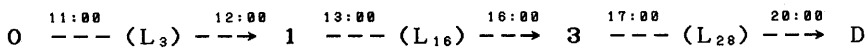


図5 (a) 動いた便のインスタンス (b) 最適系列の候補になりうる全てのインスタンス



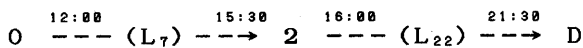
(III) 第2最適系列以降の探索

時間的シミュレーションでは、ステップ17にて目的地Dへの最初の到着便が発見されたので、一旦シミュレーションを中断し、最適系列の手練りを行って第1最適解を発見した。2.で説明した探索余裕時間が例えば24時間であると仮定すると、第1最適解の目的地への到着時刻が19:00であったので以後、翌日の19:00直前まで、目的地Dへ到着する系列を探索することになる。このとき、例えば第2最適系列は、第1最適系列の T_1 、つまり10:00以後に出発地Oを出発した系列に対してのみ時間的シミュレーションを再度行えばよく、10:00以前に出発した系列はすべて無視する。この2回目のシミュレーション結果、 $t=20:00$ にて、 L_{28} が目的地Dに到着し、 $T_{28}=11:00$ であることが分かる。更に、手練りを行った結果第2最適系列は、



となる。

以後、同様にして探索を行った結果、第3、及び第4最適系列はそれぞれ、



となる。

4. 乗り換えに考慮すべき時間情報

例えば、東京駅から羽田空港への乗り換え移動を行う場合に考慮すべき時間情報として、新幹線ホームから羽田空港への移動時間と、搭乗のための手続き時間とがある。また、新幹線の場合でも例えば同じ上りホームで乗り換える場合には待ち時間0分でも乗り換え可能であるが、折り返し乗車を行う際の上りホームから下りホームへの乗り換えや、同じ上り同士であっても違うホームへ移動しなければならない場合にはやはりこれらの移動時間を考慮に入れる必要がある。本システムでは、図6に示す乗り換え時間をすべて考慮に入れて探索を行っている。

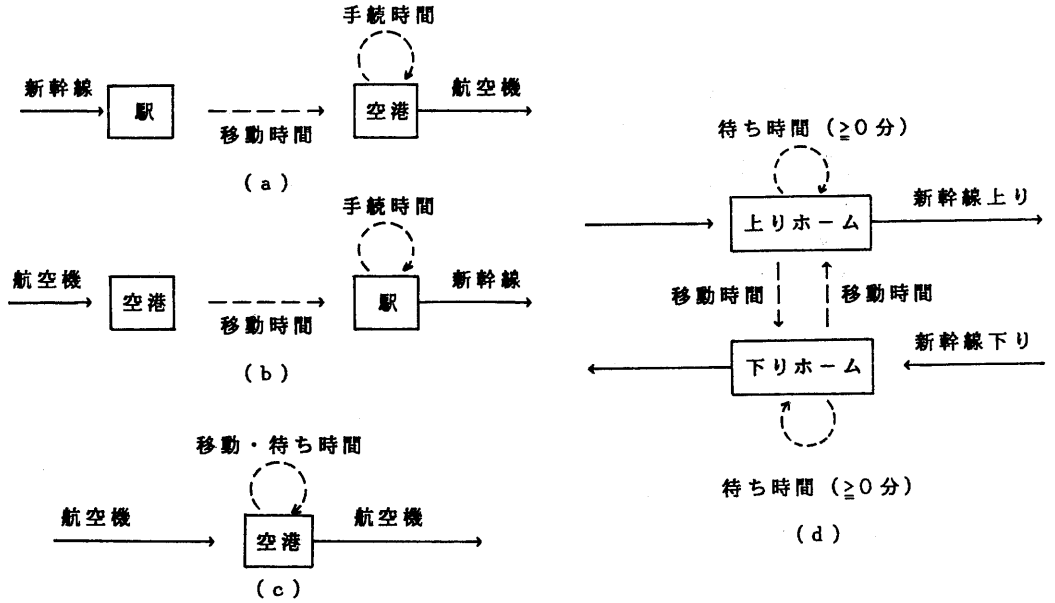


図6 考慮した乗り換え時間情報

5. 探索例

図7 (a) ~ (c) は、出発地を福岡空港、目的地を盛岡、出発希望時刻を 7:00、探索余裕時間を 24 時間としたときの本システムのディスプレイ画面を示す。(a) ~ (c) はそれぞれ第1 ~ 第3 最適乗継ぎ系列の解であり、余裕時間内に到着する 10 通りの解が求まったことを示している。なお、使用計算機は PC-9801 で、使用言語は FORTRAN、計算時間は本例の 10 個の解全てを求めるのに約 10 秒を要した。

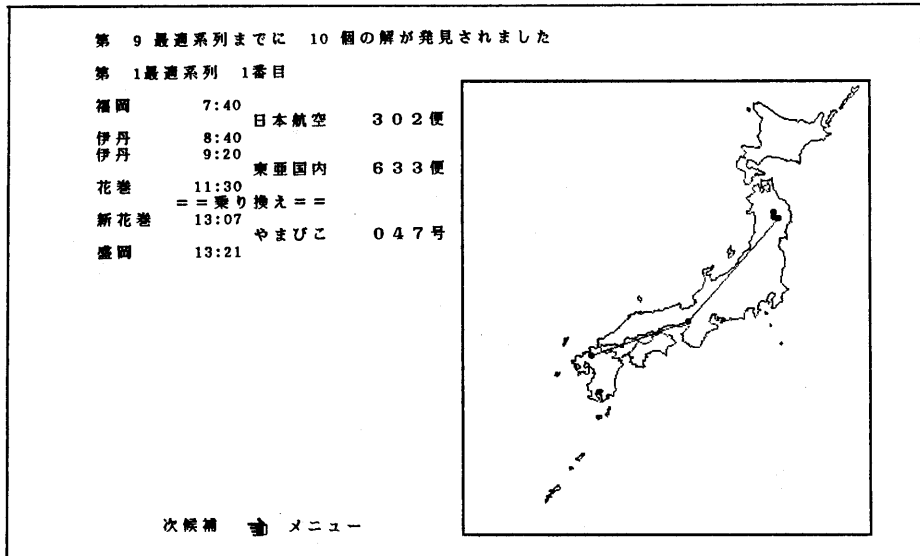


図7 (a) 第1 最適乗継ぎ系列

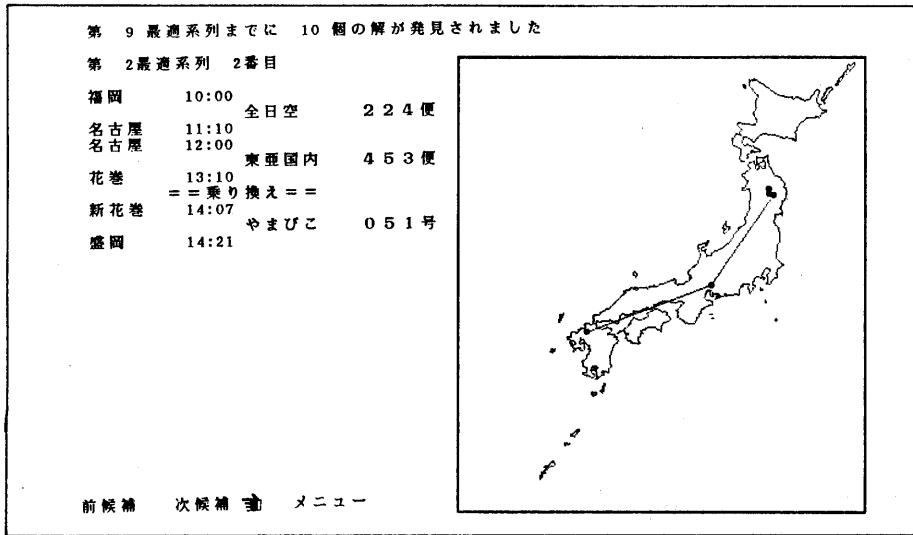


図 7 (b) 第 2 最適乗継ぎ系列

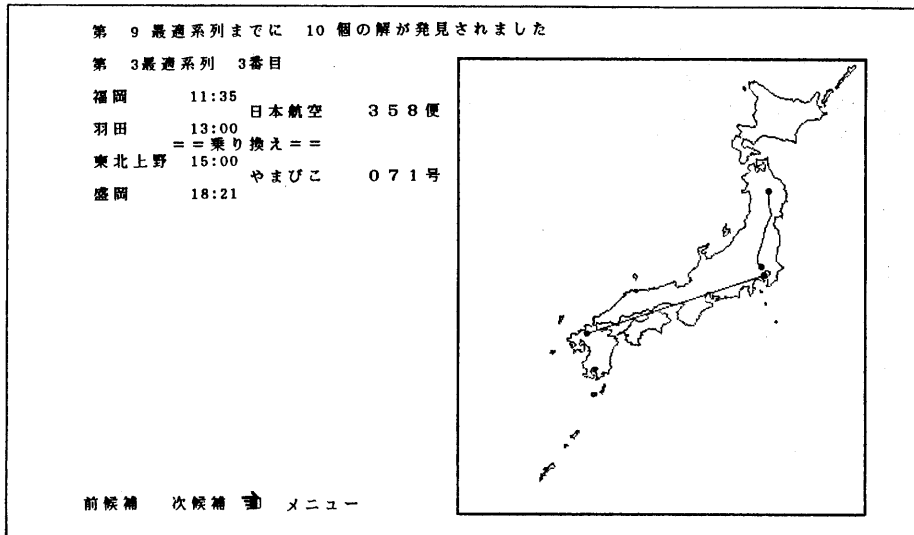


図 7 (c) 第 3 最適乗継ぎ系列

6. むすび

探索の効率化を図り、パーソナル・コンピュータ上で動作する航空機・新幹線最適乗継ぎ案内システムの概要について述べた。乗継ぎ回数が最小のもののみを選択することにより冗長な経路が効率よく除外されることが明らかとなったが、料金などの経済性等を考慮に入れた最適経路情報を提供するものが今後の課題である。

- 参考文献 (1) 加藤：”到着または出発時刻指定による最適新幹線列車および航空機の選択案内システム”、情報処学会第 27 回全大、4m-7 (昭58)。
 (2) 加藤、倉部：”新幹線・航空機の最適乗継ぎ系列探索エキスパート・システム”、情報処学会知識工学と人工知能研、37-2 (昭59)。