路線バスの運行計画

柳井　浩

はじめに　路線バスは便利だが，時刻表が当てにならない．他の自動車と一緒に道路を走るのだから無理もないが，出来れば，時刻表を工夫したり，時間調整をしたりして，少しでも，うまく運行して欲しい．こんな問題を考えるために，出発点と終点を含めて４つの停留所をもつバス路線を考えて見よう(図１)．

図　1

出発時刻と到着時刻　バスがある停留所を出発して次の停留所に到達するまでの所要時間は，場所によっても，時刻によっても異なる．運行表を作るのには，各時刻における所要時間をすべて把握しなければならない．

これらをひとまとめにして表現するには，所要時間をそのまま用いるのでなく，バスの到着時刻を出発時刻の関数として考えるとよい．すなわち，

$y = f_i(x)$:時刻xにおいてバスが停留所$i-1$を出発到着するとき，停留所iに到着する時刻　$(i = 1, 2, 3)$　(1)

という関数であらわされるものとしよう．

このような関数の一例がグラフとして図２に示されている．関数$f_i(x)$のタテ座標はバスが次の停留所に到着する時刻を示しているから，45^oの直線$y = x$と$f_i(x)$の間の距離$f_i(x) - x$が，“時刻xに停留所$i-1$を出発したときの，次の停留所iまでの所要時間”である．混んでいる時間帯には，すいている時の２倍もの時間がかかることもあるのが見てとれる．

この関数は，バスの運行記録からも推定できよう．最近では，カー・ナビゲーションの基礎データも集まっているようだから，それを利用出来よう．また，データが取れない場合には，当て推量によってでも関数を設定してみるとよい．それなりに，状況が明らかになる．

やない　ひろし　慶應義塾大学理工学部管理工学科
〒223 横浜市港北区日吉3-14-1

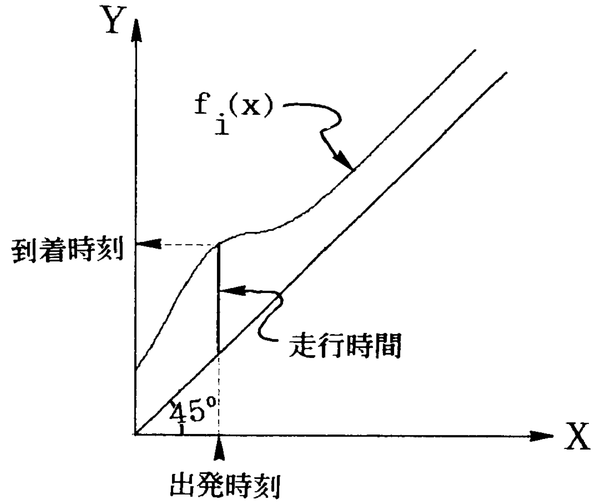

図　2

ところで，所要時間はその時々によってバラツクのだが，この問題は後に考えることにして，関数$f_i(x)$が確定的に与えられる場合から考えよう．このとき，バスの到着・出発時刻は次のようにして求められる：

t_0:停留所$i = 0$を出発する時刻

とし，まず，乗降客がいない場合を考えて，バスが各停留所で到着と同時に出発するものとすれば，

t_i :停留所$i(= 1, 2, 3)$に到着・出発する時刻

はそれぞれ，次のようになる：

$$\begin{aligned} t_1 &= f_1(t_0) \\ t_2 &= f_2(t_1) = f_2(f_1(t_0)) \\ t_3 &= f_3(t_2) = f_3(f_2(f_1(t_0))) \end{aligned}$$

このために，各停留所について，関数f_iのグラフを画いておけば(図３)，出発・到着時刻の時系列t_0, t_1, t_2も図上で簡単に求めることが出来る．すなわち，t_0からt_1を求めるには，f_1のグラフで，タテ軸を読めばよい．次にt_1からt_2を求めるには，45^oの直線によって，タテ軸の値をヨコ軸に移すことができるから，t_1の値をヨコ軸に移して，f_2のグラフでタテ軸にt_2を読めばよい．つまり，出発・到着時刻の時系列を作るには，t_0から出発して，f_1, f_2, f_3のグラフを次々にたどりつつ，階段を作って行けばよい．また，t_0を変えることで，バ

スの進行がどのように変わるのかも，このような階段を画きなおすことで容易に分かる．

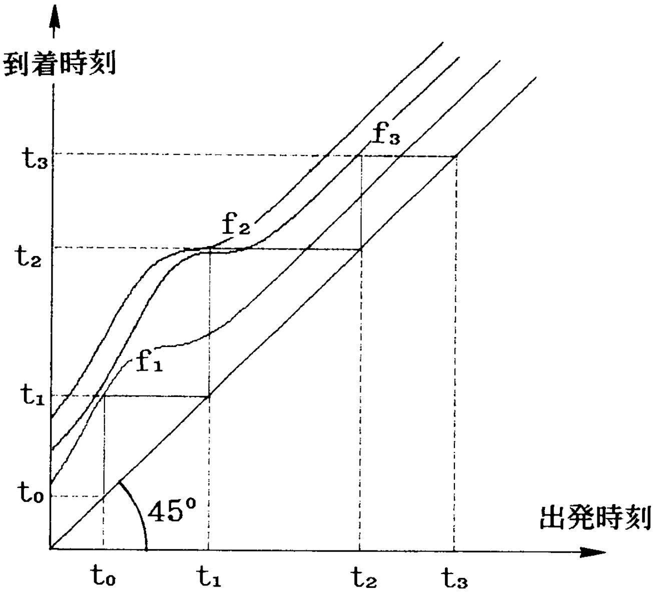

図 3

乗降時間　ところで，以上では，客の乗降に要する時間は考えていない．しかし，乗降客がいれば，何がしかの時間が必要になる．そして，乗降客の数も時刻に依存する．だから，乗降時間も(1)式のような関数を用いて表せばよい．すなわち，

$x=g_i(y)$:時刻yにおいてバスが停留所iに到着するとき，客の乗降が終了して出発可能になる時刻 $(i=1,2)$　(2)

が与えられているものとしよう．このような関数の推定が困難であれば，とりあえずは，一定時間 τ_i と設定すればよい．このときには，

$$x=g_i(y)=y+\tau_i$$

となる．図4にはそのようなグラフが画かれている．到着時刻をt_iをタテ軸に，出発時刻s_iをヨコ軸にとってあるので，関数g_iのグラフは45°線の下側に位置し，45°線との水平距離が乗降時間τ_iに対応することになる．

さて，乗降時間を考える場合には，バスの到着時刻と出発時刻を区別しなければならないから，

s_i :バスが停留所iを出発する時刻$(i=0,1,2)$

t_i :バスが停留所iを到着する時刻$(i=1,2,3)$

としよう．こうすれば，バスの運行は

$s_0, t_1, s_1, t_2, s_2, t_3$

という時系列によって記述できる．

いま，発車可能になり次第，バスが発車するものとしよう．このとき，s_0が与えられれば，上記の時系列は関数f_iおよびg_iによって

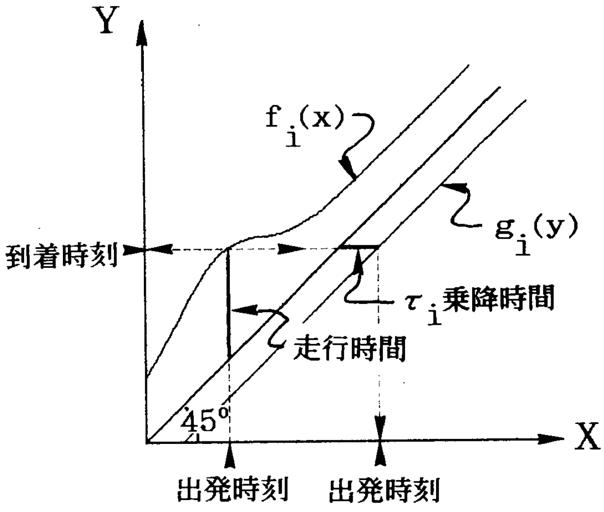

図 4

$$\begin{aligned} t_1 &= f_1(s_0) \\ s_1 &= g_1(t_1)=g_1(f_1(s_0)) \\ t_2 &= f_2(s_1)=f_2(g_1(f_1(s_0))) \\ s_2 &= g_2(t_2)=g_2(f_2(g_1(f_1(s_0)))) \\ t_3 &= f_3(s_2)=f_3(g_2(f_2(g_1(f_1(s_0))))) \end{aligned}$$

と構成されるから，g_iのグラフを図3の上に書き込めば，この時系列も容易に図上で作れる（図5）．

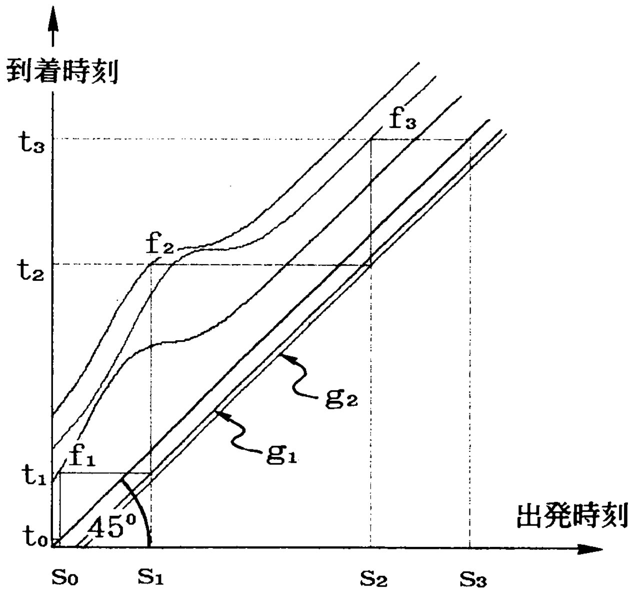

図 5

往　復　以上では，往路のバスの運行だけを考えた．しかし，バスは，普通，路線を往復する．これについては，バスが図6aのような円環状の路線をグルグルと廻っているものと考えればよい．そこでさらに，図6bのようにこれを切り開いて，一日の往復に相当するだけ繰り返しておく．つまり，“長く延ばした”路線を一日かかって端から端まで進むと考えるのである．

このように考えて，図5のようなチャートを作っても，さほど複雑にはならない．両端の停留所と復路に関する関数fやgの書き込みが必要になるだけである．

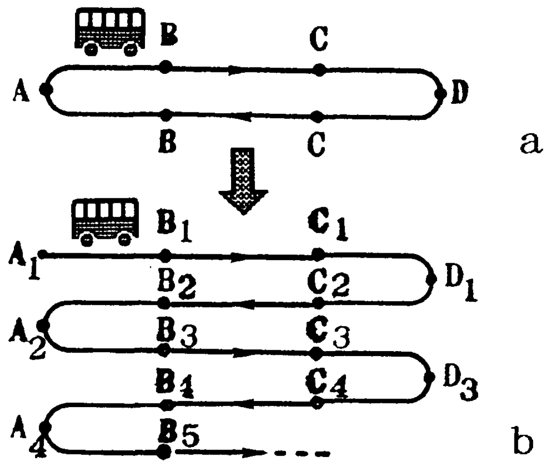

図 6

運行時間と時刻表　こうして，ある定められた停留所（車庫のある所など）を，ある時刻に出発するバスの運行表を作ることが出来るようになった．さらに，これにもとづいて，複数台のバスからなる路線全体の運行計画を立てることができる．

一般的にいえば，各時間帯において，ほぼ一定の間隔でバスが来るのが，“分かりやすい”という点で望ましいといえよう．とはいえ，このようなことが，関数の姿によって，時間帯によっては困難であることが図からも見てとれる．

一方，鉄道の駅では，列車の出発時間や到着時間にバスのそれを合わせて置く必要があるかも知れない．次のバスが来るまでの間隔が空きすぎないように，人為的にバスを停車させておく“時間調整”の必要もあろう．また，運転手さんの休憩時間も必要だ．

運行計画には，これらすべてが関わってくるので，唯一絶対の最適な計画というものが計算できまるわけではないが，計算機で作った図の上で運行が一目瞭然になれば，人手をわずらわすにせよ，かえって，キメの細かい計画が立てられるであろう．

バラツキ　さて，現実の問題では，所要時間のバラツキも無視できない．バラツキの取り扱い方は，いろいろあるが，ここでは上界および下界によって考えよう．例えば，バスの到着時刻を与える関数f_iを

$$f_i^L(x) \leq f_i(x) \leq f_i^U(x)$$

のように大小関係で挟み込むような下界関数$f_i^L(x)$および上界関数$f_i^U(x)$を設定するのである．下界関数としては，停留所間の距離を法定速度で割った値を使うのも一つの方法だし，上界の方も，渋滞を悲観的に捕らえた値を使って設定すればよい．

乗降時間についても同様である．乗降客が一人もなければ，乗降時間はゼロだから，下界関数を

$$g_i^L(y) = y$$

とすることも出来る．また，いくら大勢の人が乗り降りするからといって，バスの定員を超えることはないから，これから乗降時間の上界関数$g_i^U(x)$を設定することも出来る．こうして，出発可能時刻を大小関係

$$g_i^L(y) \leq g_i(y) \leq g_i^U(y)$$

で挟み込むことが出来る．さて，このような上－下界を図3のようなチャート上にかきこめば，各関数のグラフはある幅を持つことになる．図7には，とりあえず，停留所$i=3$までの図を示しておいた．

ここで，運行計画を作成するには，その幅の中央の適切な点をたどって“階段”を作るもよし，また，下界ばかりをたどった“階段”と，上界ばかりをたどって作った“階段”とを比較して，その差がある程度以上大きくなったら，バスの出発をわざと遅らせる“時間調整”を運行表に差し込むのも良いだろう．

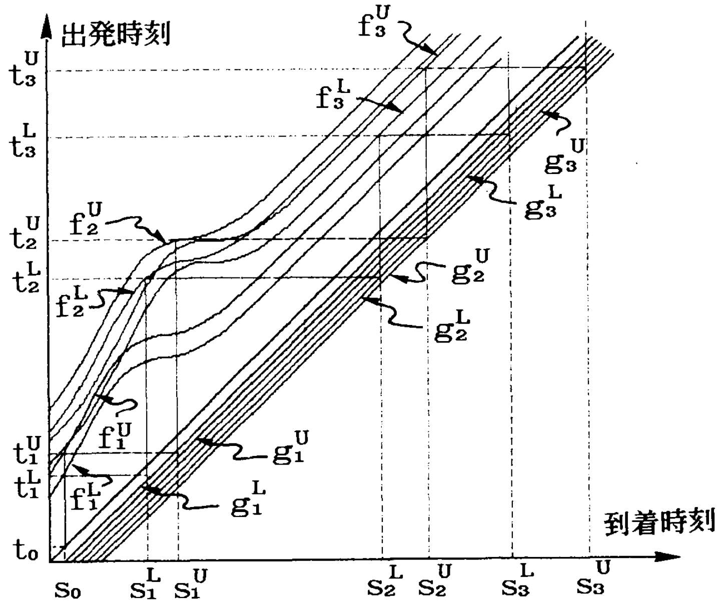

図 7

おわりに　このように，各時刻における所要時間を全部睨まなければならないような面倒な問題でも，“情報”を整理して，うまくグラフの形に画けば，見通しよく物事を考えることができる．さらに，このようなグラフも計算機で画けば，実際の場面でもさらに有用なものになろう．