選択停車を利用した運転再開直後の運転整理案の自動生成

学生員 楊 中 平 (東京大学)

正 員 古 関 隆 章 (東京大学)

正 員 曾 根 悟 (工学院大学)

Automatic Generation of Rescheduling Plan Immediately after Resumption of Train Operation

Using Selective Stops Schedule Pattern

Zhongping Yang, student member, Takafumi Koseki, member (The University of Tokyo),

Satoru Sone (Kogakuin University)

It is an important factor for railway services to take proper train rescheduling under disrupted conditions. This paper discusses the rescheduling problem in the case of resumption of train operation, in which the train operation has been temporarily suspended by an accident. The authors propose a novel rescheduling method using selective stops schedule pattern. The proposed rescheduling problem has been formulated as a nonlinear optimization problem, and it has been solved by the simulated annealing method. Finally, the proposed methods are applied to a typical commuter line, and the efficiency of these methods has been verified through simulations.

キーワード：運転整理，選択停車，焼きなまし法，IPASS

1. はじめに

列車運行においては、人身事故、車両故障、悪天候などの運転支障による運行乱れが発生すると、乗客に対するサービス品質が急速に低減してしまう。従って、如何にリアルタイムで運転整理を行うことにより、ダイヤ乱れによる悪影響を最小限に抑えることができるかは重要な課題である。

しかし、高度な計算機技術を擁する今日でも、運転整理案を定量的に評価する方法がなく、計算機側から運転整理案に対する評価量を提示できないため、運転整理案の良し悪しの判断、運転整理案の作成は完全に運転指令員の経験と勘に任せられているのが現状である。現有の人手に強く依存した形態から、計算機を主体とした進め方に移行するために、計算機による運転整理案に対する評価量を提示し、運転整理案を自動生成できるようなシステムを鉄道事業者は強く求めている。

現状の運転整理の問題点を踏まえ、本稿では、車両故障、人身事故などに起因する全線あるいは路線の一部が一時運転サービスが中止した場合の運転再開直後の運転整理を検討対象とし、乗客にリアルタイム個別案内可能な情報システムを導入する前提で、運転整理案の定量的評価法を示し、

速達性と特定の列車への過度な混雑の緩和に寄与できる選択停車型ダイヤパターンを利用した運転整理案の自動生成法を提案する。そして、提案手法の有効性をシミュレーションで検証する。

2. 検討対象とする運転整理問題

列車運行の乱れには小規模なものから大規模なものまで考えられる。発車前の駆け込み乗車や雨の日など乗降に時間がかかることにより、列車遅延が生じた小規模な運行乱れについて、現状では遅れが生じた列車の先行列車の出発時間を調整する手法、いわゆる列車の間隔制御で、列車遅延が発散的に増大する問題点が解消されている。一方、大規模な運行乱れについては、野球終了時のような大イベントなどによる乗客の増加や大雪による影響など事前に予測できる場合は、大規模な運行乱れを避けるように、予め複数の運行パターンを用意して対応している。また長時間不通になっている区間がある場合は、運転指令員が考える時間があるため、適切な運転整理案を作成して対応できる。

本研究では、事故や故障などで10分～30分程度不通になることが一番多いから、このような予測できない即時性を要求される事故路線の運転再開直後の運転整理問題を検討対象とする。鉄道における運転整理問題は制約要因が多

く、しかも路線毎に事情が違うといった性格を持つため、本稿は研究の第一ステップとして乗務員運用および車両運用の制限を考慮しないこととする。また、運転中止時間が長くなると、待ち客に対する駅容量も考慮しなければならないが、本研究は待ち客数が駅容量より少ない運転整理問題を検討対象とする。

事故や故障が起きると、一時運転サービスが中止されたため、運転再開直後の際には事故路線の各駅に大量な乗客が溜まってしまう。現状では、運転再開直後の運行においては、急行列車から普通列車への変更といった列車種別の格下げを事業者に容認しているが、その逆に普通列車から急行列車への変更といった列車種別の格上げが認められていない。その理由は現有の情報提供システム環境にある。つまり、現有の情報提供システム環境では、乗客に個別誘導案内できないため、乗客への案内が容易で誤乗トラブルがないように、運転再開直後何本かの列車をすべて各駅停車にする手法がよく用いられることになる。しかし、この手法では駅停車による損失時間が大きく、また運転再開直後の最初の列車に乗客が集中するため、特定の列車への過度な混雑を招く欠点が指摘される。

本研究では、図1に示すように、事故による運転再開時に在線した列車を含めた数本の列車を対象列車群と定義する。対象列車群の本数は運転整理案作成側が運転再開時点の乗客需要によって決める。結局、運転再開直後の運転整理案の作成は対象列車群の運行パターンを決めることになる。本研究では、事故地点より後の駅間にいる在線列車に関しては次の駅まで進行させ、車内の全ての乗客を降ろした後にその列車を新しい列車として定義する。一方、事故地点より先方にある列車は基本ダイヤ通りに終点まで進行することとする。

図1 対象列車群
Fig.1. An objective train group

3. 選択停車を利用した運転整理案の自動生成法の提案

<3・1> 公共交通利用支援システム

近年、公共交通システムにおける画期的なサービス改善が期待できる非接触 IC カードシステムの開発が注目を浴びている。現在の実用化あるいは研究開発中の非接触 IC カードシステムによるサービス改善は主に自動運賃徴収であるが、文献(1)で近い将来実現されるべき次世代の公共交通利用シ

ステムとしての IPASS (Intelligent Passenger ASsistance System: 公共交通システム利用支援システム) というものが提案されている。このシステムは、通信および情報表示・入力受付などの機能を有するカードないし携帯端末を利用することによって、

1. ゲートレス運賃徴収
2. リアルタイム個別乗客案内
3. 超高精度乗客需要の自動把握

の3機能を実現し、乗客・交通事業者双方にとって便益を与えようというものである。

このシステムのリアルタイムの個別案内機能により、利用者の目的地までの誘導や、ダイヤが乱れたときの利用者への適切な指示を出せるばかりでなく、次に述べる高速で高密度な運行を目指した複雑な選択停車型ダイヤを組んだ際にも、適切に利用者に指示が出せる。

<3・2> 選択停車型ダイヤパターンを利用した運転整理

前述の IPASS を鉄道システムに導入することを前提とすれば、現状では容認されていない列車の格上げも実現可能となる。そこで、本研究では速達性と特定の列車への過度な混雑の緩和に寄与できる選択停車型ダイヤパターンを利用した運転再開直後の運転整理を提案する。

図1に示すように、選択停車型ダイヤとは、複数の列車に異なる停車駅を分担させたダイヤパターンである⁽²⁾⁽³⁾。このダイヤパターンには、列車を高密度で運行できること、列車の途中の停車時間による損失時間が少なく、列車の平均速度を向上させることが可能のため、速達性も有するといった特徴を持っている。また、複数の列車に異なる停車駅を分担させるため、特定の列車への過度な混雑の緩和にも好ましい。一方、選択停車型ダイヤの本質的な問題点としては、列車の停車駅パターンによって到達不能ODペアが生じることである⁽³⁾。本研究では、対象列車群の最後の1本の列車を各駅停車することでこの問題を解消する。なお、付録で図1のダイヤパターンの書き方を補足説明する。

図2 検討概要
Fig.2. Outline of this research

<3・3> 運転整理案の自動生成

選択停車型ダイヤパターンを採用した対象列車群の運行パターンは多数ある。運転再開直後の運転整理案の決定は、多数の選択可能なパターンの中から予め決められた評価基準に基づいて、最良な運行パターンを見出すことになる。本研究では、計算機による運転整理案を自動生成するように、運転整理案の定量評価方法を定め、最適化手法を用いて運転整理案の決定を行う。その詳細はそれぞれ次の4、5章に示す。本稿の検討概要を図2に示す。

4. 運転整理案の評価

本章では運転整理案の乗客からみた評価項目を考慮し、その定式化を示す。

<4・1> 基本定義

対象列車群の数および初期位置情報は対象列車群ベクトル d で次のように表す。

$$d = (d_1, d_2, \dots, d_{n-1})^T \quad (1)$$

ここで、 n は事故路線の駅数を表す。 d_i は運行再開直後に i 駅から出発する列車の数である。一例として、図3のような路線では、運行再開直後に対象列車群ベクトルは

$$d = (3, 0, 1, 0, 0, 0)^T \quad (2)$$

となる。

対象列車群の運行パターンは行列

$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & \dots & p_{0n-1} \\ p_{10} & p_{11} & \dots & p_{1n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m-10} & p_{m-11} & \dots & p_{m-1n-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

で表現する。ここで、 m と n はそれぞれ対象列車群の列車数と駅数を表す。 p_{ij} は0か1の二値を取る数で、その条件を

$$p_{ij} = \begin{cases} 0 & i \text{ 列車が } j \text{ 駅に停車しない場合} \\ 1 & i \text{ 列車が } j \text{ 駅に停車する場合} \end{cases} \quad (4)$$

と定義する。

図3 路線モデル
Fig.3. Line model

<4・2> 評価関数

<4・2・1> 総乗客損失時間 実際に乗客が出発駅から目的駅に着くまでにかかる乗車時間と出発駅での乗車待ち時間の和から、乗客が出発駅から無停車で目的駅に行くとした場合にかかる時間を引いたものをその乗客の損失時間とする。この総和をある運行パターン P の全乗客損失時間と呼ぶ。評価関数として式で表すと

$$T_{loss} = \sum_{i=1}^N [(t_i' + t_i'') - t_i] \quad (5)$$

となる。ここで、各変数は

T_{loss} : 運行パターン P の総乗客損失時間

t_i : 乗客 i が出発駅から目的駅に着くまでの乗車時間

t_i' : 乗客 i の出発駅での乗車待ち時間

t_i'' : 乗客 i が出発駅から無停車で目的駅に行くとした場合にかかる時間

N : 乗客の総数

として与えられる。

<4・2・2> 列車の混雑度 各列車・区間毎の混雑度は次の式で計算することができる。

$$f_{ij} = \frac{q_{ij}}{C} \quad (6)$$

ここで

f_{ij} : i 列車 j 区間の混雑度

q_{ij} : i 列車の j 区間における乗車人数

C : 列車定員

特定の列車がひどく混雑していると極端に不利益を被る乗客が出てくることになるだけでなく、積み残しを生じたり、再び運行乱れをもたらしたりする恐れもあるので、特定の列車への過度な混雑を回避すべきである。混雑度の最大値を用いて、最悪な混雑状況を評価する。

次に、対象列車群の全体の混雑状況の評価としては、実効混雑度を用いて評価を行う⁽⁸⁾。実効混雑度とは、各列車の混雑度を混雑を体験する乗客数と混雑を体験する時間とで重みづけして平均したものである。式で表すと

$$g = \left(\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-2} f_{ij} \cdot q_{ij} \cdot t_{ij} \right) / \left(\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-2} q_{ij} \cdot t_{ij} \right) \quad (7)$$

となる。但し、

g : 対象列車群の実効混雑度

t_{ij} : i 列車 j 区間における走行時間

である。

<4・3> 列車区間別乗車人員の計算アルゴリズム

ある対象列車群の運行パターンが与えられた際の評価量の計算方法について本節で説明する。

<4・3・1> 乗客需要と乗客乗車行動仮説 本研究は地下鉄や都心対郊外型のような高密度輸送の通勤・通学路線を考察対象とするため、事故前後で各駅での乗客需要の発生率が変わらず、予め知られているものとする。再開直後の対象列車群を利用する乗客需要には

1. 運転再開時点に各駅にたまった乗客需要
2. 運転再開後に発生した乗客需要

がある。

また、乗客の乗車行動は次の仮説に基づくとする。

1. 最も早く目的駅に到着するように列車を選択する。
2. 目的駅への到着時刻が同じならばなるべく乗換回数が少ないように列車を選択する。

<4・3・2> 最短乗車バスの探索 出発駅から目的駅までの乗車可能バスは複数存在するのが一般的である。本研究では対象列車群の運行ダイヤを一つのグラフと見なし、ベルマンの最短経路探索アルゴリズム⁽⁷⁾を用いて乗客の最短乗車バスを探索した。対象列車群の運行ダイヤのグラフモデルは次の通りである。

まず、駅をグラフ G のノードにモデル化すると、事故路線に駅 n 個があるとすると、グラフ G のノード集合は

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\} \quad (8)$$

となる。次に対象列車群の各列車をグラフ G のラインにモデル化し、グラフ G のラインの集合は

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\} \quad (9)$$

となる。そうすると、対象列車群運行ダイヤはグラフ G

$$G = \{L, S\} \quad (10)$$

にモデル化される。

さらに、各列車の各駅における着発時刻はノードの属性データとして与える。すなわち、各ノード S_i に対して、 $S_i \in l_j$ のとき、 $a_{ij}(S_i)$ と $d_{ij}(S_i)$ はそれぞれ駅 S_i における列車 l_j の到着時刻と出発時刻を表すことになる。

上述のように対象列車群の運行ダイヤをモデル化すると、グラフ理論におけるベルマンの最短経路探索アルゴリズムのアーキをラインに拡張し、ライン上の各ノードのラベリング操作を行うことで、最短乗車時間バスの探索ができる。

<4・3・3> 乗客の割付 乗客の選択乗車バスに沿って列車への乗客割付を行えば、列車区間別の乗車人員の推定と乗

客の目的地までの乗車損失時間及び列車間混雑率の均一化の評価量の計算が可能となる。

5. 最適運行パターンの探索

長時間不通による各駅にたまった乗客は、運転再開後に自分の旅行時間の延長を最小限に抑え、できる限り早く目的地に着きたいという考えを持つ。従って、前節の総乗客損失時間を目的関数とすることは妥当である。決定変数としての対象列車群運行パターンは P で、目的関数を数式で表すと

$$\min_P \sum_{i=1}^N [(t_i + t_i'') - t_i] \quad (11)$$

となる。式中の各記号の意味は式 (5) と同じである。

制約条件としては、まず対象列車群の各列車は始発駅と端末駅に必ず停車するため、

$$p_{is_i} = 1, p_{in-1} = 1 \quad (i = 0, 1, \dots, n-1) \quad (12)$$

となる。ここで、 s_i は i 列車の始発駅を表す。対象列車群の運行パターンが異なれば、前節で述べた運行パターンの評価量も変わってくる。対象列車群の始発駅と終着駅を除いて総サービス可能駅数を x 個とすると運行パターンは 2^x 通り存在することになる。これらのパターンを全て評価し、その中から最良なものを選ぶ全数探索は最も単純かつ確実なアルゴリズムである。しかし、この方法は多くの評価量の悪い運行パターンについてもいちいち調べなければならず、効率が悪い。簡単なモデルを解こうとしても、膨大な時間がかかる。そこで、本研究では、適切な運行パターンを効率よく見つける方法として、焼きなまし法 (Simulated Annealing: SA)⁽⁴⁾⁽⁶⁾ を適用した。この方法では、局所解へ陥るのを防ぐために、山登り法 (Hill-Climbing: HC) に確率的な遷移を導入している。

本研究では、ある運行パターン P の近傍の定義は次の通りである。まず、運行パターン行列 P を

$$(p_{00}, p_{01}, \dots, p_{0n-1}, p_{10}, p_{11}, \dots, p_{m-1n-1}) \quad (13)$$

のように $(m \times n)$ の長さを持つ 0 と 1 のビット列に書き換える。次に、式 (13) の隣合う 3 ビットの部分列をランダムに選び、ヒューリスティックに決めた確率で、ビット列の順序逆転か、0 を 1 に、1 を 0 に反転させるように突然変異を施すによる近傍を用いた。

また、温度 T の更新は

$$\text{New Temperature} = \alpha \times \text{Temperature} \quad (14)$$

図4 モデルの運行ダイヤ
Fig.4. Operation diagram of model

図5 モデルの乗客需要 (人/分)
Fig.5. Demand of model (person/minute)

によって行う。ここで、 $Temperature$ は更新前の温度値、 $New\ Temperature$ は更新後の温度値、 α は0~1の温度勾配である。

6. シミュレーション

本研究で提案した手法の有効性を確かめるため、通勤・通学輸送を担う典型的な路線としての都心対郊外型路線を用いてシミュレーションを行った。

<6・1> 検証モデル

図4は周期15分の都心対郊外型路線モデルのダイヤを示す。この緩急結合型ダイヤでは1周期に急行1本、各停2本を運行、列車は車両定員144人10両編成で運行する。また、列車の駅間走行時間は2分と設定した。モデル路線の上り方向の1分毎の乗客需要を図5に示す。典型的な都心対郊外型路線の乗客需要として、図5から都心駅7に行く乗客需要が他に比べて圧倒的に多いことが分かる。

想定する運転整理の場面は11:24分に1駅において、0駅11:21発の各停列車が30分止まってしまい、30分後、つまり11:54分から運行を再開するとした。追い越し、折り返し、車両格納の可能な駅を3駅に設定した。なるべく乗客の損失を減らすために、運転再開までに運行可能な区間で折り返し運行を実施させるべきである。本シミュレーションでは、図4と図6に示すように、運転再開までに駅3と駅7の間の乗客需要を考慮して、列車2本が12分の間隔で折り返し運転を行うとした。対象列車群の本数 m は、再開時点に各駅に溜

まった乗客需要による最大断面交通量 y_{max} と列車定員 C で次の式で決めることにした。

$$m = \frac{y_{max}}{C} \quad (15)$$

ただし、 m は整数でなければならないので、四捨五入で m を決定する。このモデルケースでは、対象列車群本数は5となった。今回のシミュレーションでは、0駅11:27、11:36および11:51発の各停、0駅11:30発の急行列車を運休させるとした。実際、駅停車時間は乗降客数によって変化するものであり、乗降客数による停車時間の変化を提案手法に入れても同様の解法が適用できるが、シミュレーションでは簡単のため駅停車時間を乗客数と関係なしに1分と仮定した。

<6・2> 検証結果と考察

対象列車群数温度勾配 $\alpha=0.9$ 、初期温度 $T_0 = 4000.0$ 、温度 $New\ Temperature < 1.0$ を終了条件とした時のSA法を用いて最適運行パターンの探索を行った。図6はSA法を用いて得られた最適な対象列車群の運行再開直後の運行ダイヤを示す。対象列車群の各列車は異なる駅間需要を複数の列車で分担して捌くような形になっていることが分かる。なお、今回のシミュレーションはPentium II (450MHz)、RAM 256MBのパソコンを使用し、500個の初期パターンから最適解の探索で2分9秒を要した。問題の準最適解を実用的時間で算出できる見通しが得られた。一方、全数探索で行おうとすれば、概ね49時間42分かかることとなる。

一方、現状ではよく使われている全各駅停車による運転整理案を図7に示す。また、現状では普通列車から急行列車への変更といった列車種別の格上げを事業者が容認していないことから、図8は列車種別の格上げをしない場合の緩急結合型の運転整理案を示す。

表1 運転整理法別の評価量

Table 1. Evaluated values obtained by respective rescheduling methods

運転整理方式	損失時間 (分)	最大混雑度 (%)	実効混雑度 (%)
全各停	174535	265	201
緩急結合	160473	265	170
提案手法	158713	195	146

表1は提案手法による運転整理案と、現状の運転整理法としての全各停と緩急結合型方式による評価量を示す。提案手法による乗客の損失時間の削減ができたことがわかった。それから、列車混雑状況の観点から考察してみる。全各停と緩急結合の最大混雑度が265% (運転再開後1駅11:54分発の列車) になったのに対して、提案手法の最大混雑度が195%まで低減できた。表1の計算値は列車容量を考慮せずに算出した結果である。しかし、実際に列車容量の制限があるため、列車混雑度が250%に達すると、「電車が揺れるたびに

図6 提案手法による運転整理案

Fig.6. Rescheduled plan by the proposed method

図7 全各停による運転整理

Fig.7. Rescheduling plan with all local method

図8 緩急結合による運転整理

Fig.8. Rescheduling plan with combined fast and slow trains

体がななめになって、身動きができず、手も動かせない」という状況になるため、もはやこれ以上乗客が列車に乗り込めない状況である。混雑度250%を最大許容混雑度と呼ぶこととする。列車容量以上の乗車要求があった場合には乗客を積み残してしまう。したがって、提案手法が従来の手法と比べ特定の列車への過度な混雑の回避ができたことも分かった。また、対象列車群全体の混雑状況を反映する実効混雑度の観点からみても提案手法が優れていることも確認できた。

7. おわりに

本研究では、乗客にリアルタイム個別案内可能なIPASSのような情報システムを導入することを前提に、近将来の運転整理手法として、選択停車を利用した運転再開直後の運転整

理案の自動生成法を提案した。すなわち、運転再開直後の運転整理案の評価式を確立し、運転再開後の運転整理案の自動生成を準最適化問題に帰着させた。

典型的な通勤・通学路線としての都心対郊外型路線モデルについてのシミュレーションを行った結果から、提案手法による運転整理案は乗客の損失時間削減と特定列車への過度な混雑への回避の両立に寄与しうること確かめた。

本研究では、大事故を生じた際の単一路線のみを議論の対象にした。今後は、乗客の迂回ルート使用、他路線の運転計画の変更などネットワークにおける運転整理問題を検討してゆく。

付録：損失時間によるダイヤ表記

列車ダイヤは一般的には時間軸と距離軸（駅が順番に配置されている）を持つ平面上に表現される。これは、任意の時刻における列車の位置、追い越しの様子などを把握するには適切な方法である。

しかし、ダイヤの理論的作成、特に計算機を利用する為には、簡単且つダイヤの評価が行い易いダイヤ表現が必要である。ダイヤの評価として、最も重要なのは利用者の乗車損失時間、すなわちある乗客の利用駅間に直行サービスが存在すると仮定したときの所要時間からの遅れ分であるから、駅停車による損失時間が明確にわかるダイヤ表現が望ましい。この停車列車と通過列車の所要時間差の標準的な値としては、通勤電車・郊外電車では、駅停車による損失時間は駅間の距離や速度、所要時間には無関係にほぼ1分/駅であるから、ダイヤ案の検討段階では方眼紙を用いて図1のように簡単に要領よく停車パターン等が議論できる。さらに、停車パターンが2値化できるため、計算機によるダイヤ評価、作成に向いている。このダイヤ表記法は既に多くの鉄道でダイヤ作成者の間で利用されており、一部では曾根式ダイヤと呼ばれている。

図1に示す損失時間によるダイヤ表記では、駅間所要時間を直接反映していないため、駅ごとにおける同一時刻を表す等時線は斜めの線で表すこととなる。一例として、図1の斜めの点線は駅間所要時間が1分とした場合の運転再開時刻11:04を表している。

(平成13年2月16日受付、平成13年10月5日再受付)

文献

- (1) 高木, 原口, 曾根:「公共交通利用個別支援システムIPASS」, 平成9年電気学会交通・電気鉄道研究会資料TER-97-50, 1997

-
- (2) S.Sone: "Novel Train Stopping Patterns for High-Frequency, High-Speed Train Scheduling", *COMPRAIL'92*, pp.107-118, 1992
- (3) 金田, 曾根: 「高速・高密度運行のための列車配置手法の検討」, 電気学会・電気鉄道研究会, TER-93-46, 1993
- (4) Kirkpatrick, S., Gelatt Jr., C.D. and Vecchi M.P.: "Optimization by Simulated Annealing", *Science*, Vol.220, pp.671-680, 1993
- (5) Richard Bellman and Robert Kalaba: "Dynamic Programming and Modern Control Theory", *Academic Press*, 1965
- (6) 長尾: 「最適化アルゴリズム」, 昭晃堂, pp.120-135, 2000
- (7) 小川, 古関, 曾根: 「バイナリダイヤを利用した列車ダイヤの合理的作成法」, 平成6年電気学会全国大会 762, pp.6-195 ~ 6-196, 1994
- (8) 曾根: 「新しい列車ダイヤと運行管理の手法について」, 社会科学論集, No.99-100 合併号, pp.23-24, 埼玉大学経済学会, 2000

楊 中 平 (学生員) 1997年東京商船大学流通情報工学課程卒業。1999年東京大学工学系研究科電気工学専攻修士課程修了。現在、同博士課程在学中。交通システム工学の研究に従事。

古 関 隆 章 (正員) 1963年7月29日生まれ。1992年東京大学大学院工学系研究科電気工学専攻博士課程修了。同大学工学部講師、助教授を経て、現在、同大学工学系研究科電気工学専攻助教授。工学博士。電気機器制御の交通・輸送分野への応用の研究に従事。電気学会、IEEE、VDI 会員。

曾 根 悟 (正員) 1939年4月23日生。1962年東京大学工学部電気工学科卒業。1967年同大学大学院博士課程修了、工学博士。東京大学講師、助教授、教授を経て、2000年4月より工学院大学教授、現在に至る。専門は交通システム工学。1982年論文賞、1996年産業応用特別賞学術賞受賞。