

OR理論を緩和問題として利用する非構造的問題 に対するアプローチ

-- 開発事例の紹介 --

数理モデリング研究所

野末 尚次

URL: www.math-model.co.jp

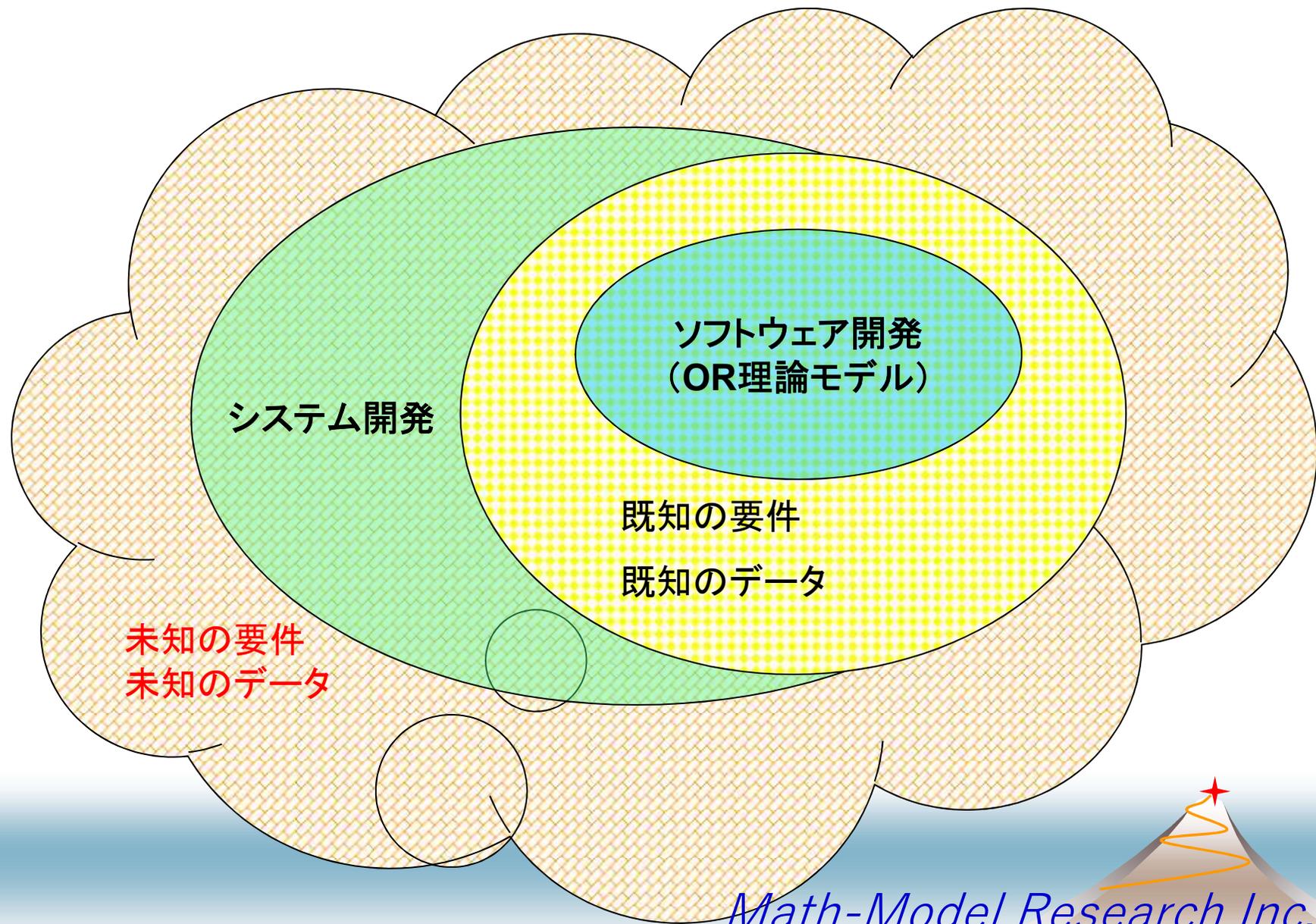


Math-Model Research Inc.

講演の概要

- ソフトウェア開発 (OR理論) とシステム開発の違いは？
- 私の主な開発例
- 非構造的な問題とこれに対するアプローチ法
- 提案アプローチ法による列車乗継案内システムの開発
- ユーザー・インターフェースの重要性
- 開発事例
 - 新幹線運転整理システム
 - プロ野球CSクリンチ・ナンバーの計算方式
 - バス路線計画支援システム (統合的アプローチ)
- ORの理論によるモデル化は、なぜ上手く行かないのか？

ソフトウェア開発(OR理論)とシステム開発の違いは？



私の主な開発例

汎用パッケージ

- ・ 非線形最適化理論
- ・ 最適化+確率効用理論
- ・ 地理情報処理(GIS)と国勢調査データ
- ・ データベース+AI

交通計画関係

- ・ GIS+商圈分析モデル
- ・ GIS+交通需要予測モデル
+代替経路生成+幹線純流動調査
+仮想質問+主観的データ
- ・ 実績時系列データ+需要予測+GUI
- ・ 予約履歴データ+需要予測
- ・ ネットワーク(k-thパス)+鉄道営業規則
- ・
- ・ 知識工学+数理計画
- ・ GIS+リモートセンシング

輸送計画関係

- ・ 制約ベースの計画ロジック
- ・ 制約論理と制約プログラミング

宣言型汎用システム開発

- ・ 運賃規則の宣言的表現+Solverの開発

信頼性管理関係

- ・ 時系列データ+磨耗予測

ロジスティックス関係

- ・ メタヒューリスティックス

混合整数計画法関係

- ・ 混合整数計画法

Deep Learning

- ・ フレームワークの利用法と適用可能性

- ・ 非線形最適化ソフトウェア
- ・ 非集計行動モデル推定システム
- ・ 地理情報処理システム
- ・ 交通知識ベースシステム

- ・ 商圈分析支援用DSS
- ・ バス路線計画支援システム
- ・ 全国新幹線網計画システム
- ・ MAGLEV(札幌~千歳空港)需要予測システム
- ・ 実績データによる波動予測・列車設定支援システム
- ・ 予約履歴ベースの動的列車設定計画のDSS
- ・ 鉄道運賃経路生成システム
- ・ 定期運賃計算システム
- ・ 列車乗継案内システム
- ・ 鉄道3D路線計画支援システム

- ・ 列車ダイヤ作成システム
- ・ 新幹線運転整理計画支援システム
- ・ 車両運用計画のDSS
- ・ 勤務割当計画のDSS

- ・ 宣言型運賃計算システム

- ・ 車載消耗品管理システム
- ・ 信頼性管理システム

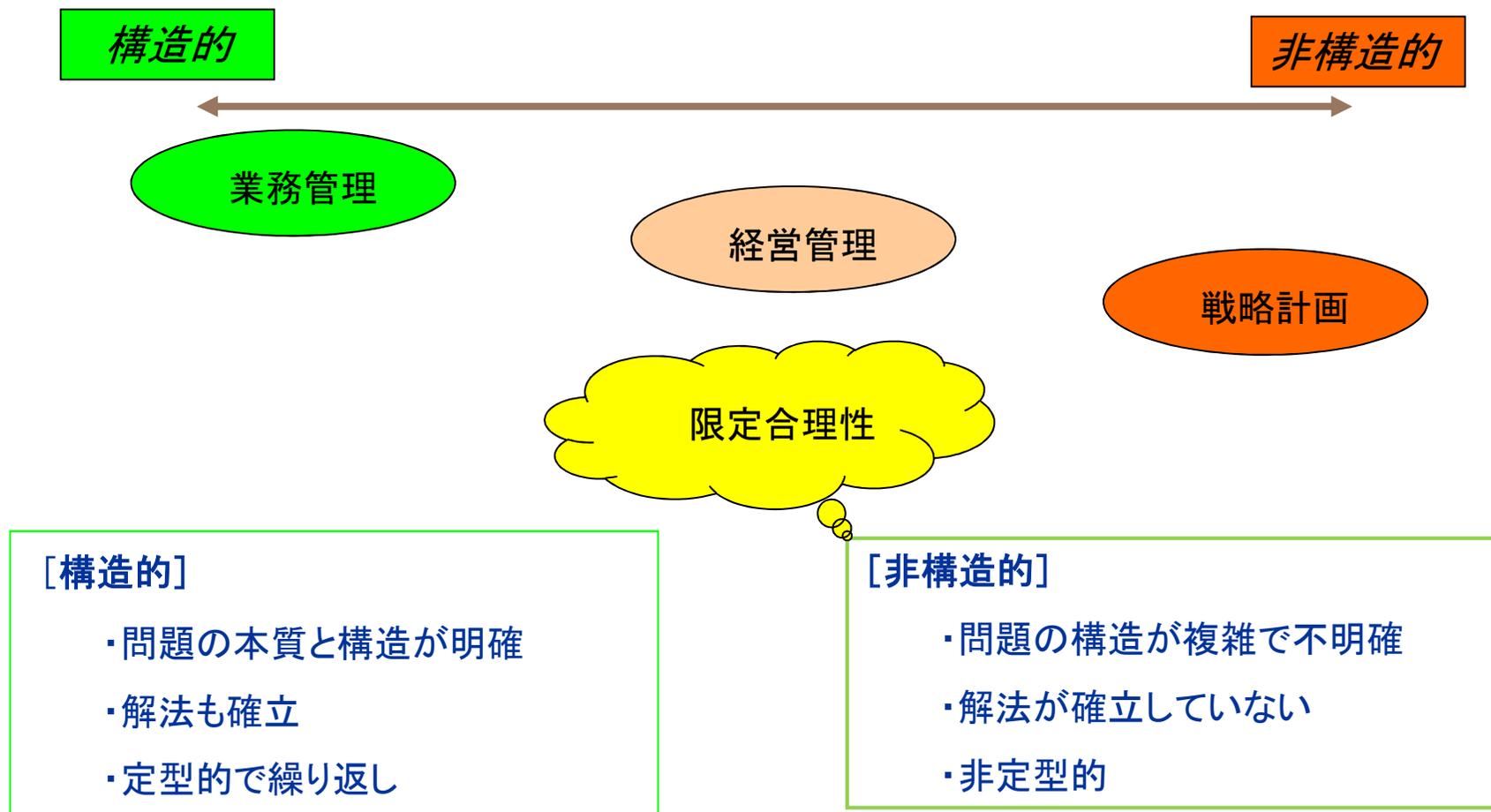
- ・ 配送計画のDSS

- ・ プロ野球のCSナンバー計算方式
- ・ シフト勤務計画のDSS

- ・ 現在進行中

- ・ 制約プログラミング(ILOG)
- ・ 混合整数計画(CPLEX)

意思決定問題の分類



意思決定とDecision Support System (DSS)

[Simon] 人間の意思決定過程は、次の3段階で構成される。

(1) 発見過程:

- ・関連情報の収集
- ・それに基づいた問題点の発見

(2) 設計過程:

- ・問題の定式化
- ・可能解の生成
- ・実現可能性のチェックによる代替案の設定

(3) 選択過程:

- ・複数の代替案の中から1つの案の選択
- ・実行案の作成

DSSは、これらの3段階を通じて、人間との共同作業を行うシステムである

非構造的な問題に対するアプローチ

- **計算モデル**
- 1)モデル化
- 2) 計算が容易な**緩和問題**を定式化し、その目的関数の上/下限値の計算
- 3)メタヒューリスティクスによる目的関数の上/下限値を考慮した**複数代替案生成**
- 4)重複案の削除、
- 5)**2個の代替案**に対する**比較関数**の設定
- 6)**全ての代替案を比較関数でソート**
- 7)**最適案**の取り出し
- グラフィカル・ユーザーインターフェース
- 8)解の**グラフィカルな表示と問題点の抽出**

最適解探索アルゴリズムが**不要!**

緩和問題の例:

混合整数計画: 整数条件の除外 → 通常のLP

XからYへ行く複数ルートの生成;

中間Mを経由するルートの長さ \geq (X->Mの最短距離 + M->Yの最短距離)

列車乗継案内システム

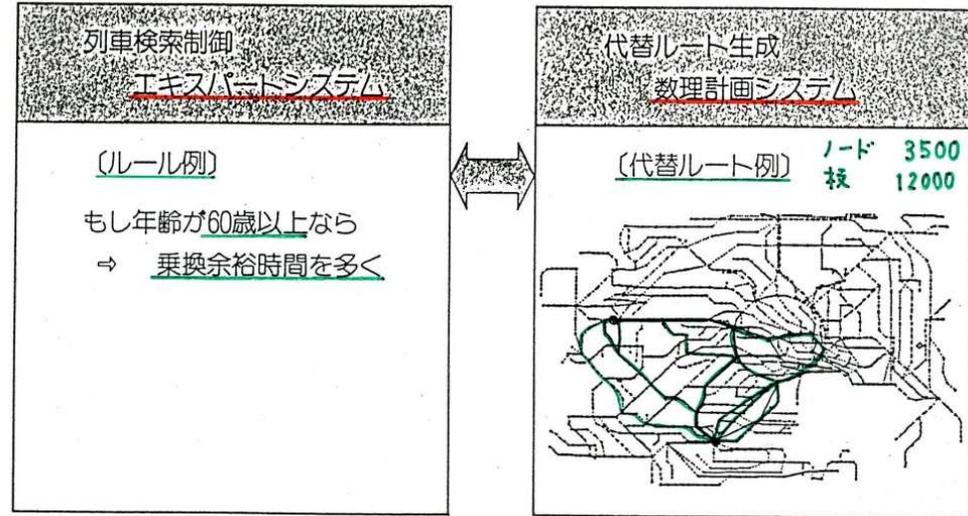
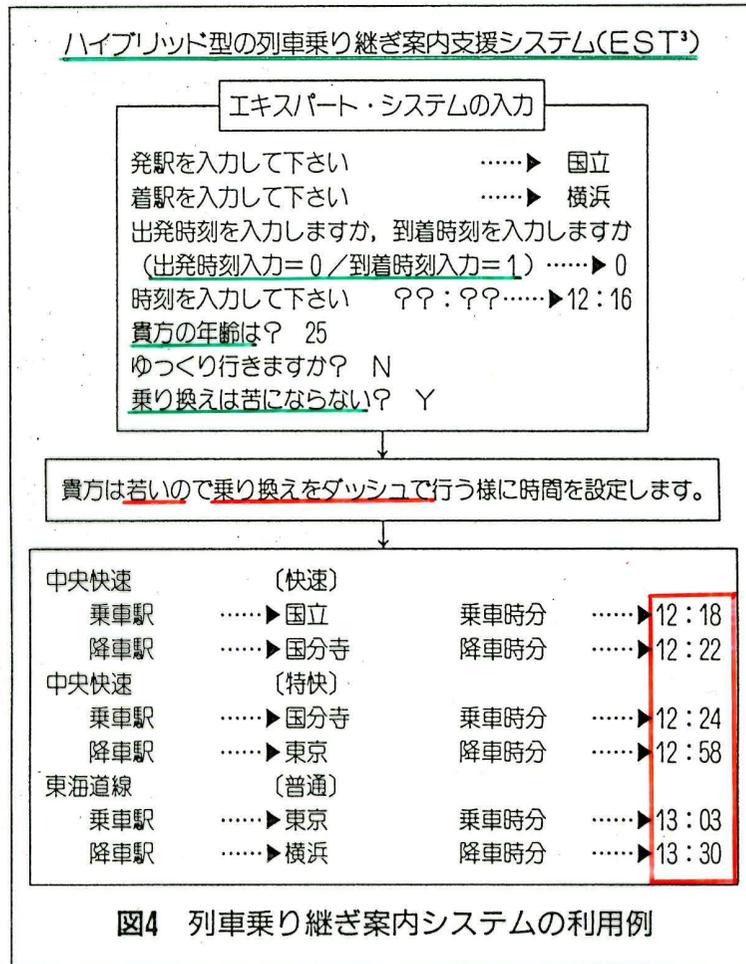
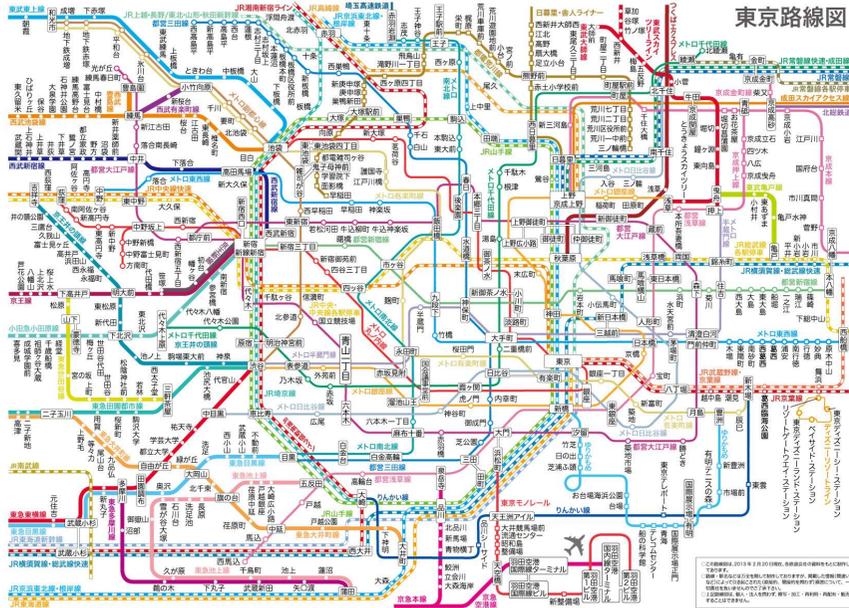


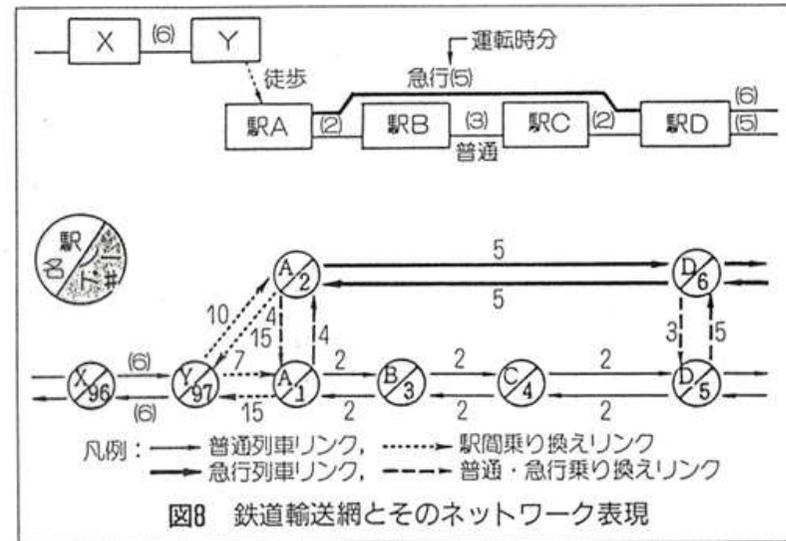
図1 ハイブリッド型のエキスパート・システム
(列車乗り継ぎ案内システムEST³)

アルゴリズム表現が困難な課題をAIのエキスパート・シェルで表現して、数理計画のモデルに反映させる。

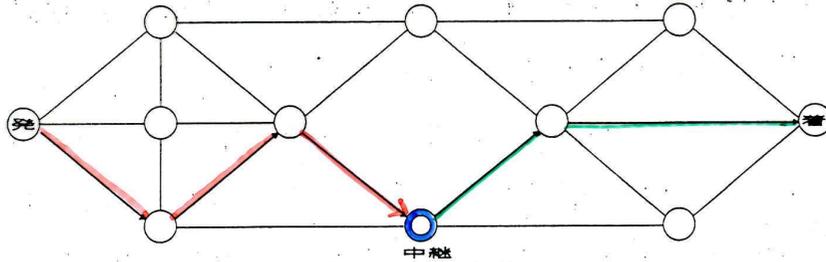
鉄道ネットワークの構築



ネットワークの構築



ルートの自動生成と緩和問題の利用



代替ルートの生成

$$\text{Min} \{ \text{中継ノードを経由するルートの距離} \} \\ \geq \\ \text{発から中継ノードへの最短距離} \\ + \text{着から中継ノードへの最短距離}$$

中継ノードMのルートを捨てる判断ロジック:

中継ノードMを経由するルートの距離 > 2X発着ノード間の最短距離

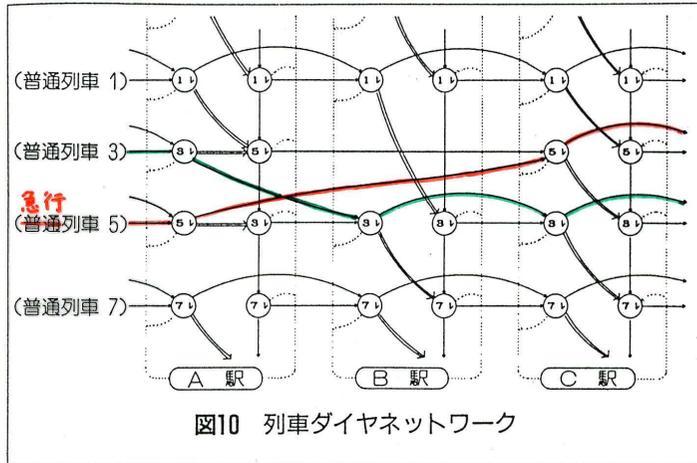
中継ノードMを経由するルートの距離の下限値 > 2X発着ノード間の最短距離

表1 複数ルートの例
(中央線国立駅～東海道線横浜駅)

(1)	国立—(中央線)—東京—(東海道線)—横浜
(2)	国立—(中央線)—東京—(総武快速)—横浜
(3)	国立—(中央線)—新宿—(山手線)—品川—(東海道線)—横浜
(4)	国立—(中央線)—新宿—(山手線)—品川—(総武快速)—横浜
(5)	国立—(中央線)—新宿—(山手線)—品川—(京浜急行)—横浜
(6)	国立—(中央線)—新宿—(山手線)—渋谷—(東急)—横浜
(7)	国立—(中央線)—西国分寺—(武蔵野線)—府中本町—(南武線)—武蔵小杉—(東急)—横浜
(8)	国立—(中央線)—立川—(南武線)—武蔵小杉—(東急)—横浜
(9)	国立—(中央線)—八王子—(横浜線)—東神奈川—(根岸線)—横浜

ルート上の時刻表サーチと最適案の選択

時刻表のネットワーク表現



指定されたルート上のトラバース

AI: 乗換余裕時間 γ の設定

最適な列車選択: 指定された出発可能時刻以降で

- 1) 最も早く到着する時刻に
- 2) 最も遅く出発する列車

ダイヤネットワークで発駅から最短ルートを検索し、その時刻から逆向きに最短ルートを検索

2経路の比較関数

- 1) 所要時間差 + α 乗換回数差 + β 運賃差
- 2) 列車の乗り継ぎパターンの良否

AI: α と β の設定

候補案のソート

出発可能時刻: 12:16
年齢: 25
ゆっくり行く: NO
乗換: 苦にならない

α β



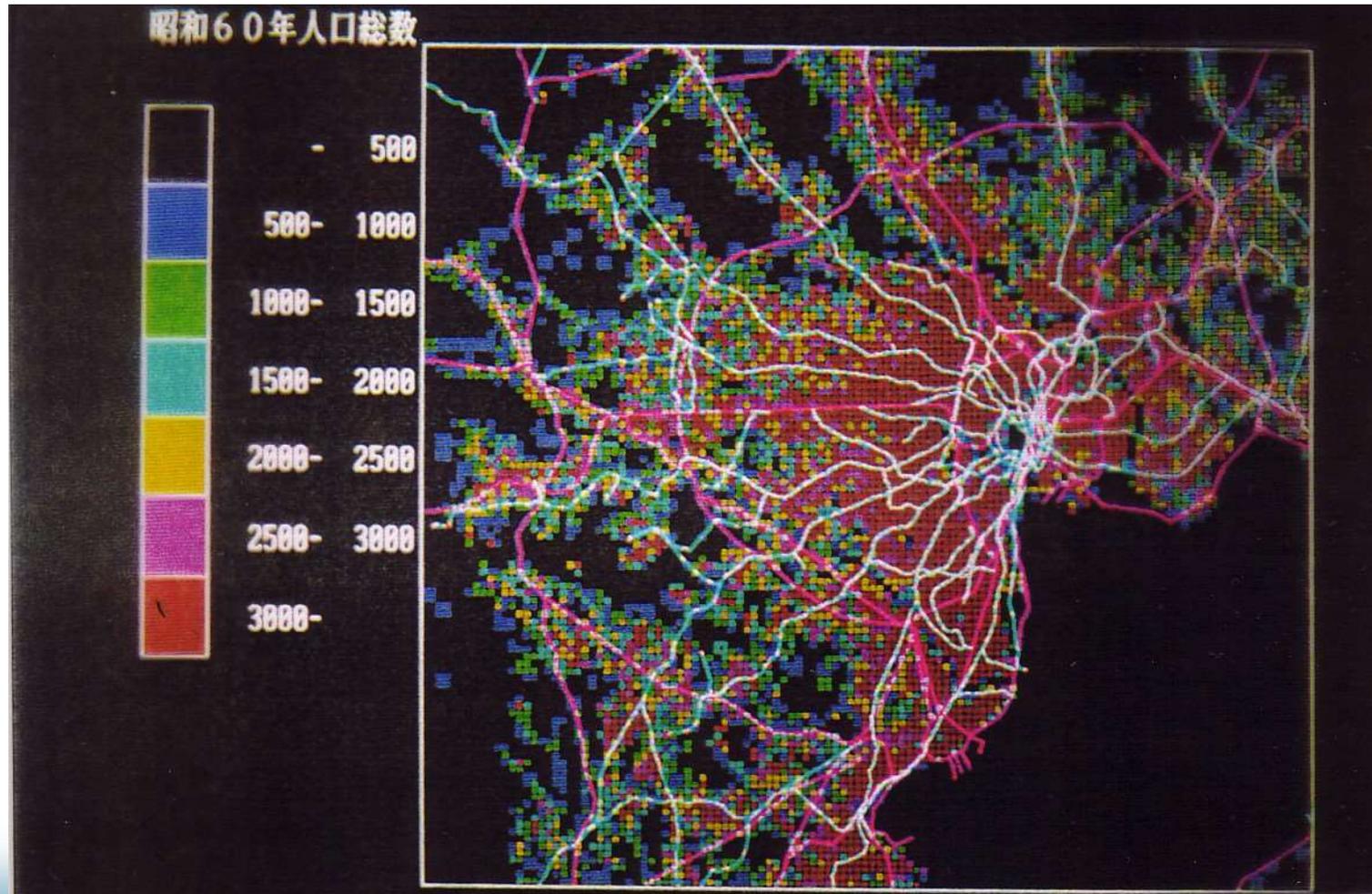
最適列車乗継案

国立(12:18)->国分寺(12:22)
国分寺(12:24)->東京(12:58)
東京(13:03)->横浜(13:30)

グラフィカル・ユーザー・インターフェースの重要性

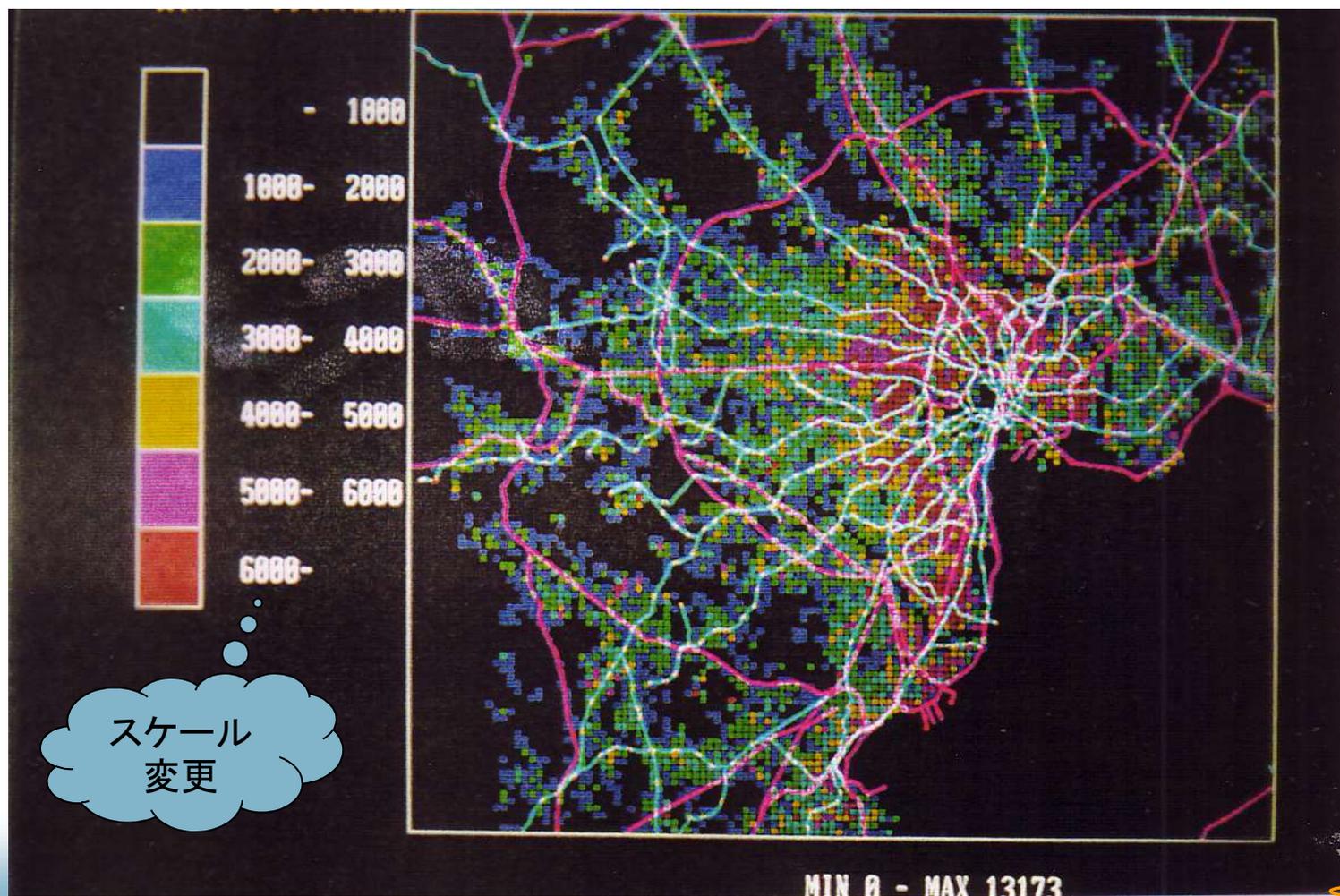
人間の知識+直感力+総合力(1)

首都圏の昭和60年の人口分布:地理情報処理システムTRAMPS+国勢調査メッシュデータ



人間の知識+直感力+総合力(2)

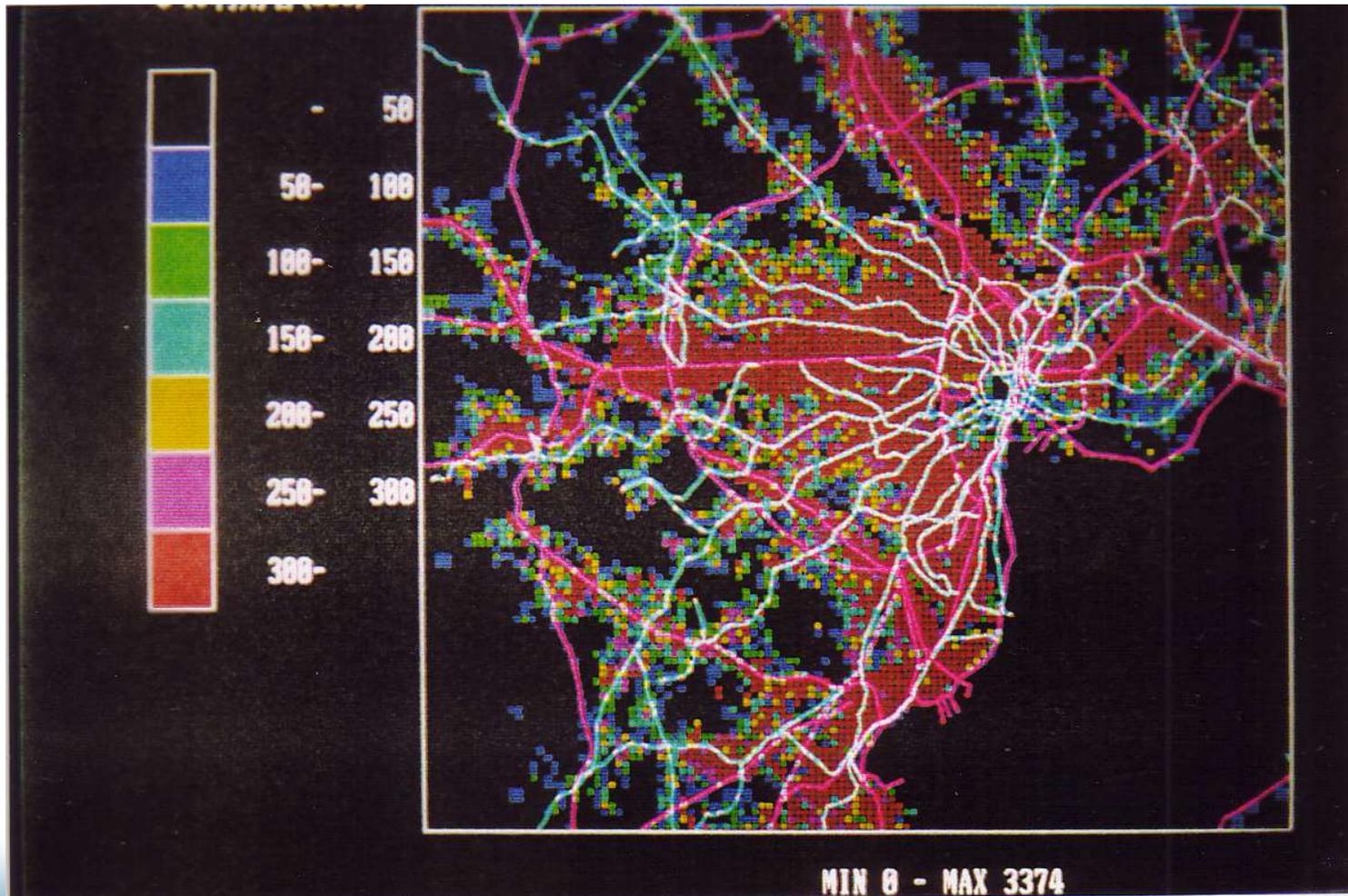
首都圏の昭和60年の人口分布:地理情報処理システムTRAMPS+国勢調査メッシュデータ



Math-Model Research Inc.

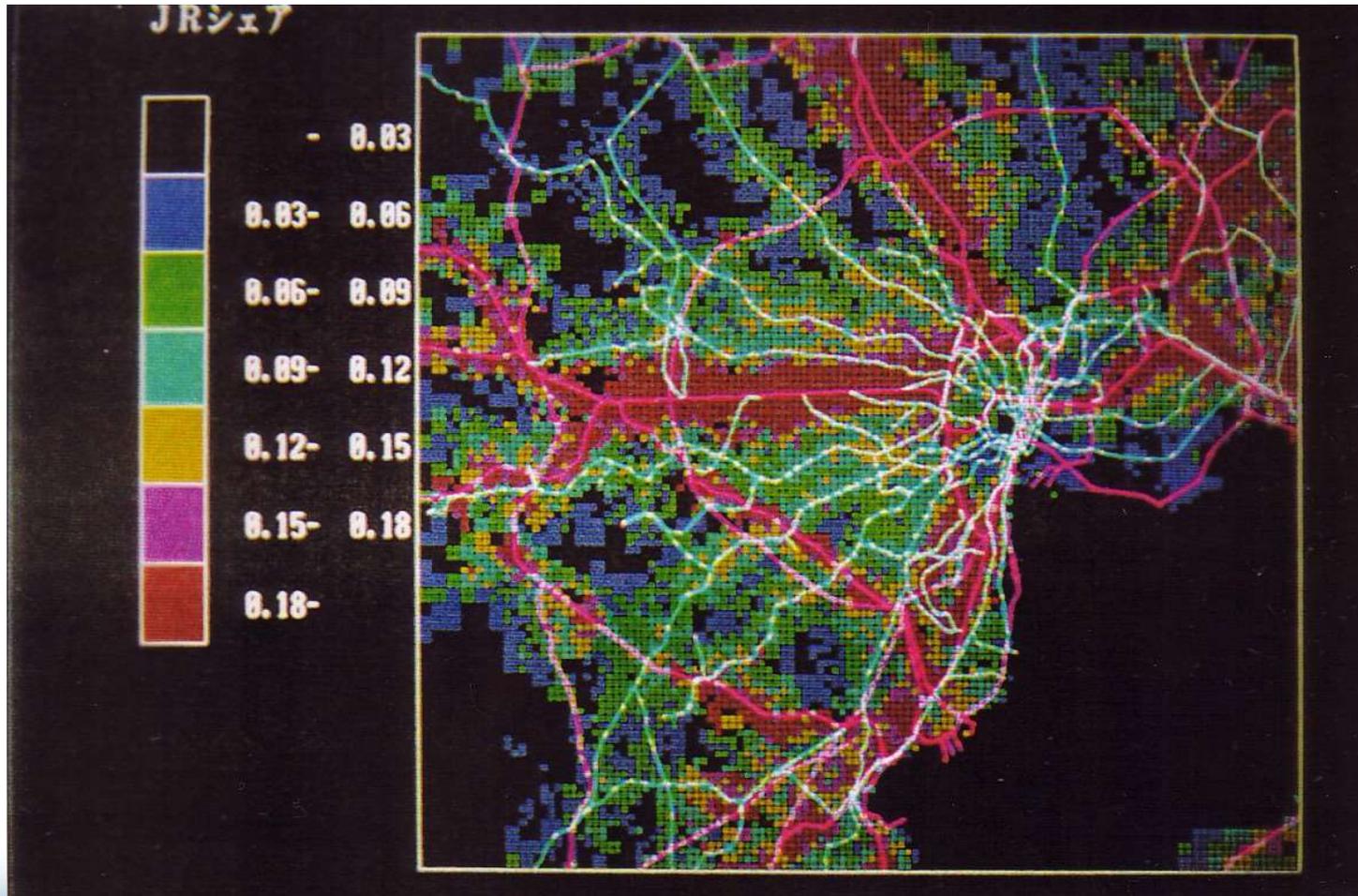
人間の知識+直感力+総合力(3)

国鉄を利用する通勤者の居住地分布(昭和60年):TRAMPS



人間の知識+直感力+総合力(4)

国鉄を利用する通勤者のシェア分布(昭和60年):TRAMPS



Math-Model Research Inc.

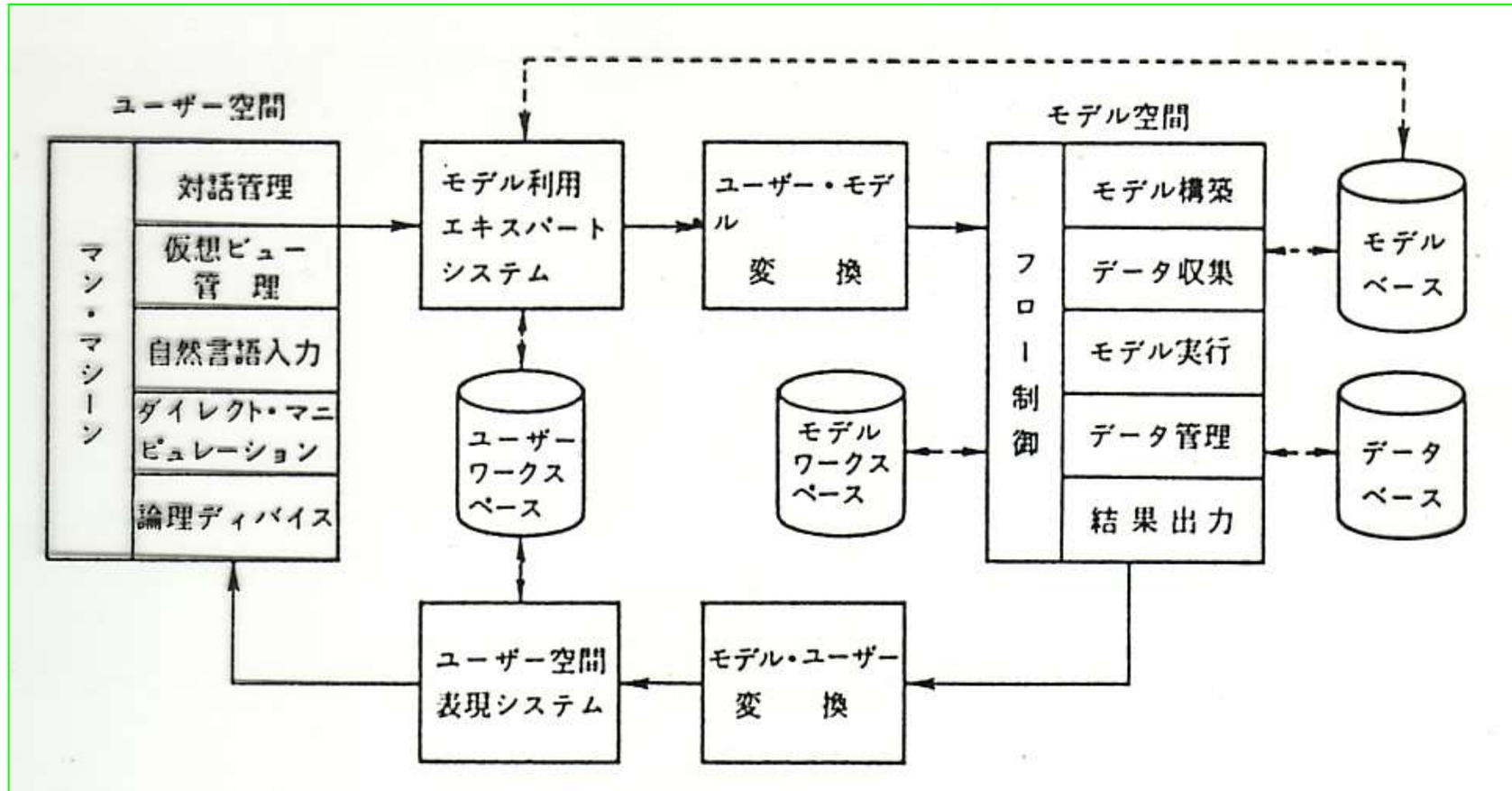
利用者の立場を考えた時、DSSはどのように作るべきか？

日・英翻訳システムを題材にして

[前提] 英語を読むことは出来るが、日本語を英語に翻訳することが出来ない人

- ① 若い兄の子供を家に連れて帰った。
→ Accompanying a child of a young older brother in a house it returned.
- ② 私は、若い兄の子供を家に連れて帰った。
→ I accompanied a child of a young older brother in a house it returned.
- ③ 私は、私の兄の若い子供を彼の家を連れて帰った。
→ I accompanied a young child of my older brother in his house and returned.
- ④ 私は、私の兄の若い子供を彼の家を連れ帰った。
→ I took back a young child of my older brother in his house.

高度なツールを含むDSSの構成方式



開発事例



実用規模の計画問題の特徴

計画問題

機械・人間・材料・在庫・納期等の制約条件の下で、

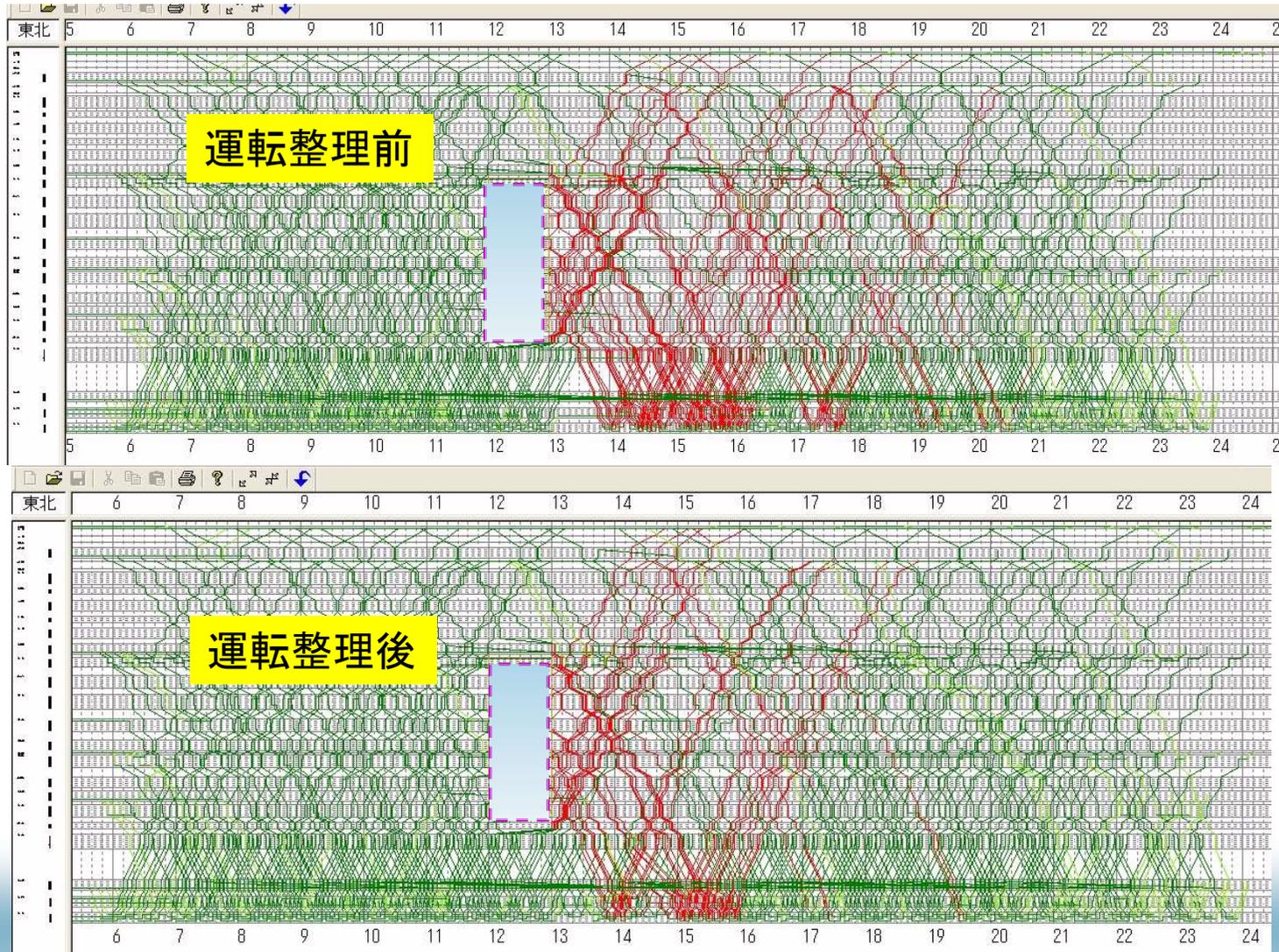
- 制約条件を満たす計画案(実行可能案)を作成する。
- 実行可能案の中で、最も効率の良い案を求める。



- どのようなタイプの制約条件があるか？
 - 絶対守らなければならない制約(ハードな制約)
 - ペナルティは有るが、緩和が可能な制約(ソフトな制約)
- 評価指標はなにか？
 - 実行可能解が得られれば良い(制約充足問題)。
 - 実行可能解の中から、(準)最適解を求める(最適化問題)。

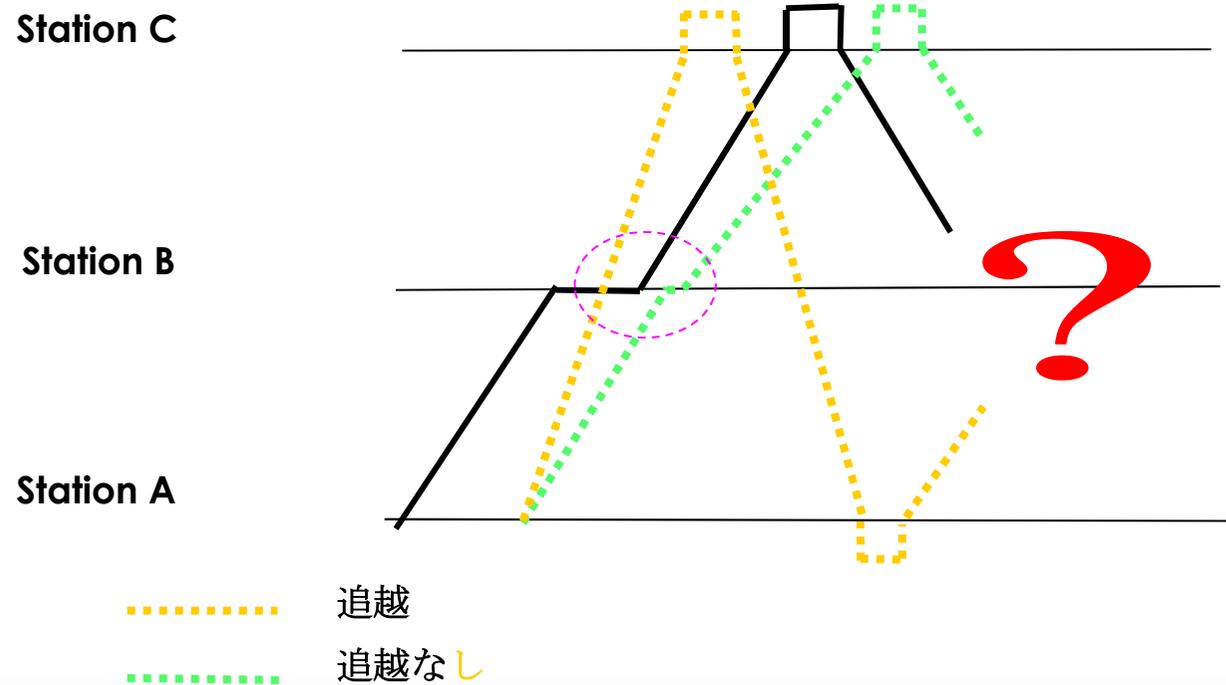
新幹線運転整理システム

(小山~仙台間が12:00~13:00まで通行不可)

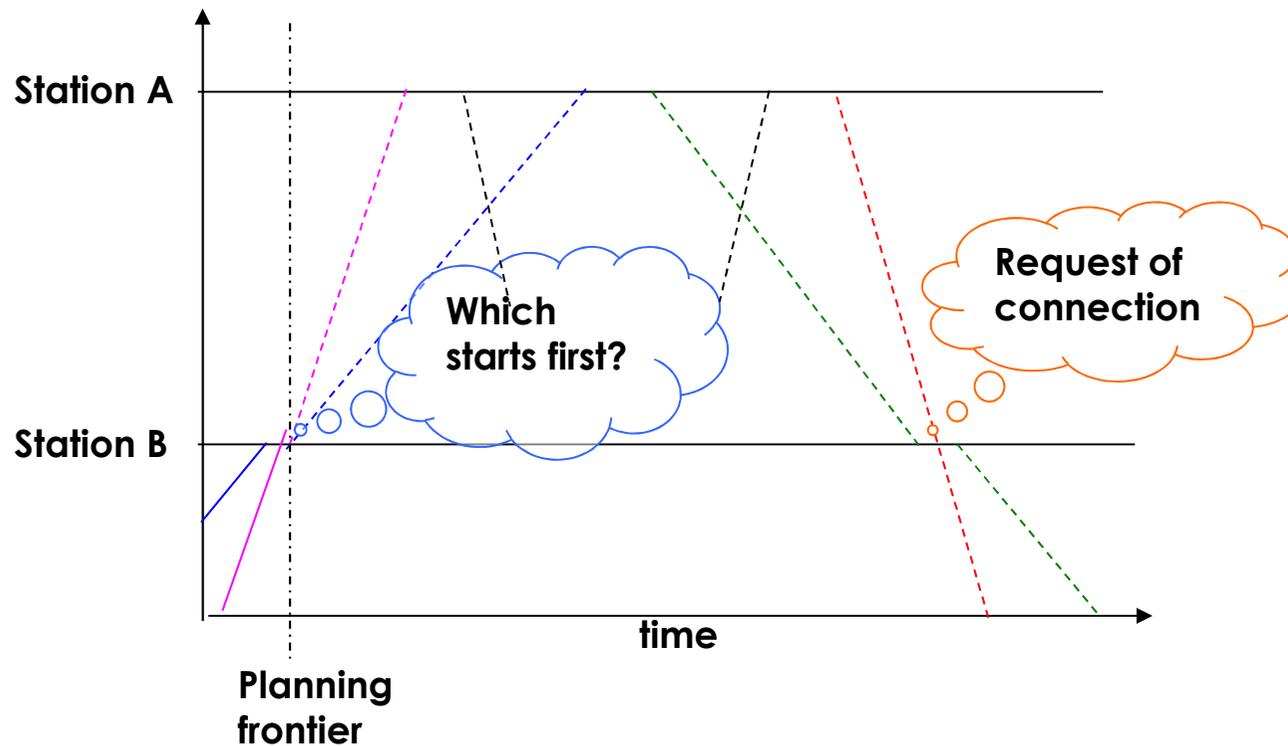


運転整理問題のカオス的性格

- 選択[追越 又は 追越なし]



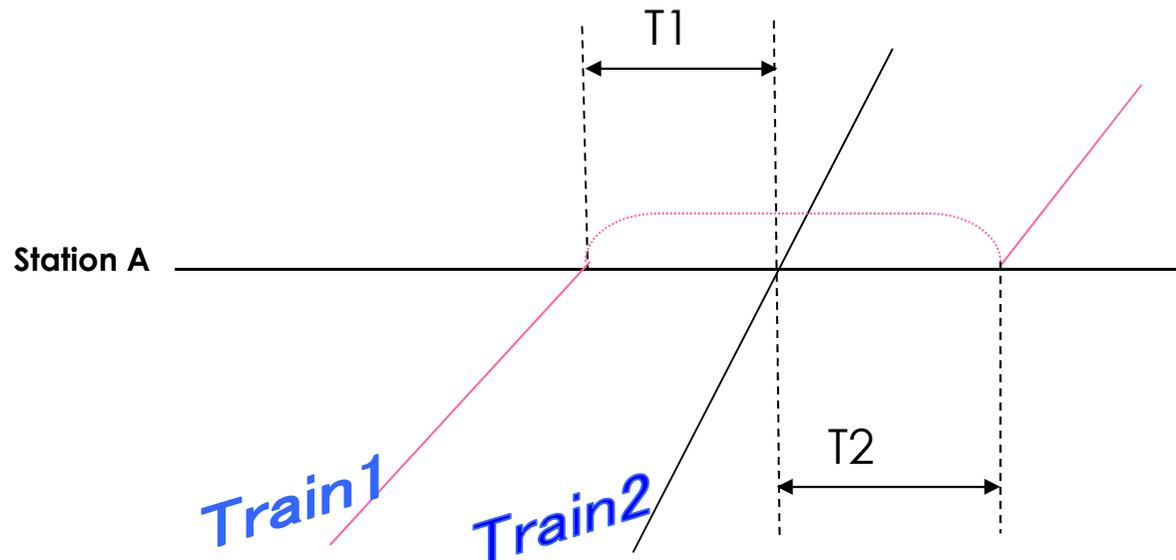
現在のシミュレーション的アプローチ



- 1) Set temporal starting times of red and blue trains and continue the calculation
- 2) If connection is missed or green train wait for long period, back to 1)

Constraint between consecutive trains (1)

- Train2 **overtakes** Train1 at station A



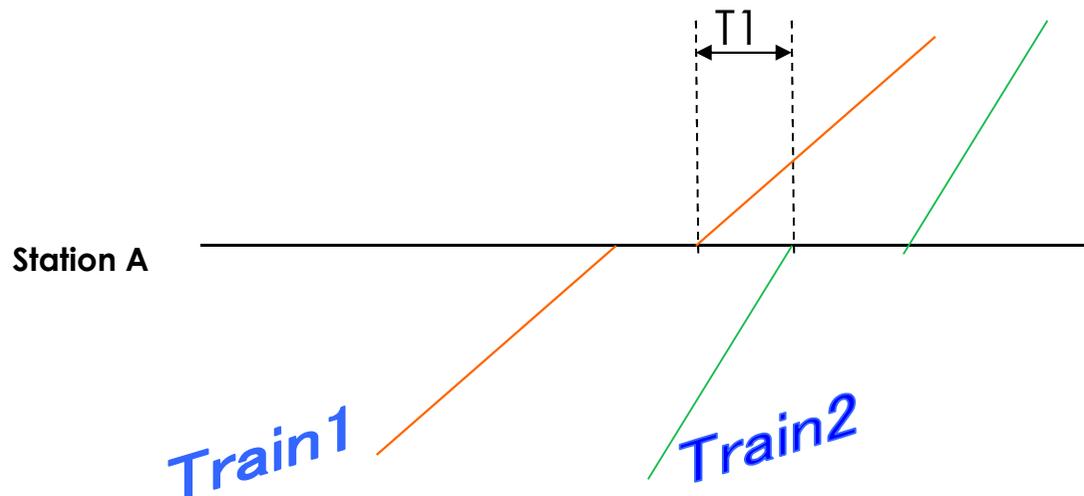
T1: Minimum time spacing of consecutive arrival
T2: Minimum time spacing of consecutive departure

Constraint: Arrival time of train1 + T1 \leq Arrival time of train2
Starting time of train2 + T2 \leq Starting time of train1



Constraint between consecutive trains (2)

- Train1 and Train2 use **the same home track** at station A

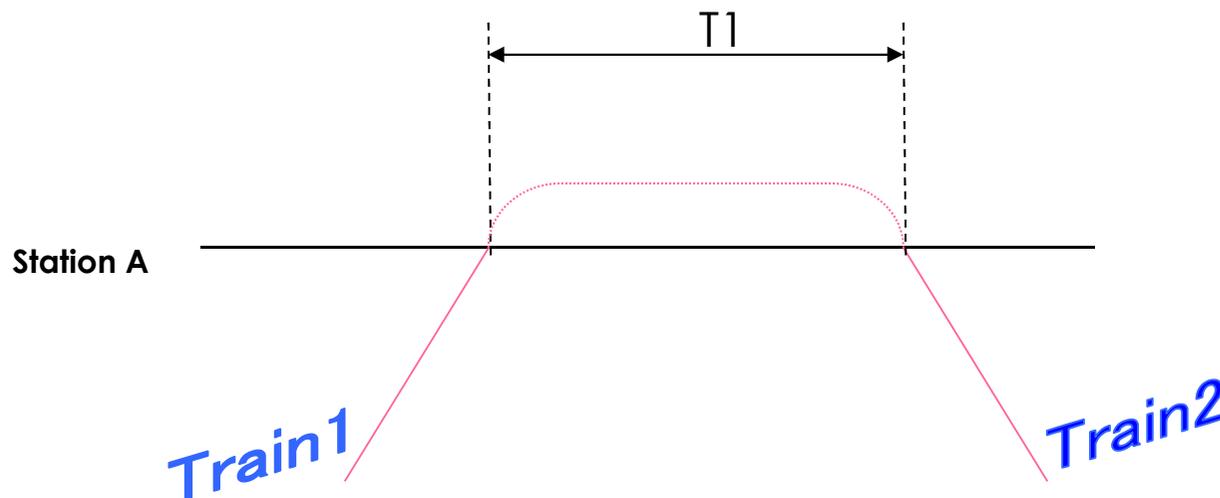


T1: Minimum time spacing of consecutive use of same track

Constraint: Starting time of Train1 + T1 \leq Arrival time of train 2

Constraint between consecutive trains (3)

- Train1 and Train2 are operated by **the same train consists**



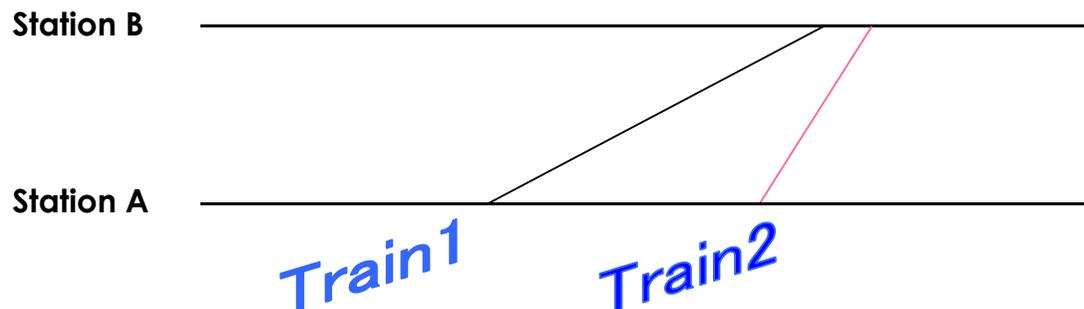
T1: Minimum time spacing of turn-back operation

Constraint: Arrival time of Train1 + T1 \leq Starting time of train2

Railway specific constraint

Constraint between stations: **FIFO QUEUE**

- Train2 **starts after** train1, then train2 **arrives after** train1, and vice versa

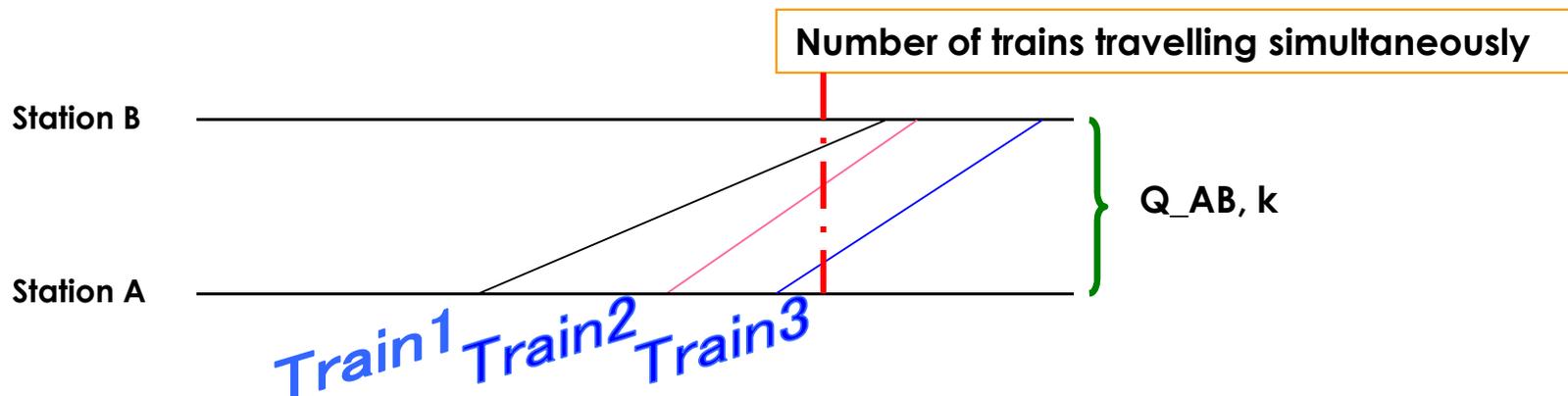


Constraint: **iff** Starting time of train1 \leq Starting time of train2,
Arrival Time of train1 \leq Arrival time of train2

Railway specific constraint

Constraint between stations: **Queue with capacity**

- No more than k trains can travel between station A and B simultaneously (**line capacity**)

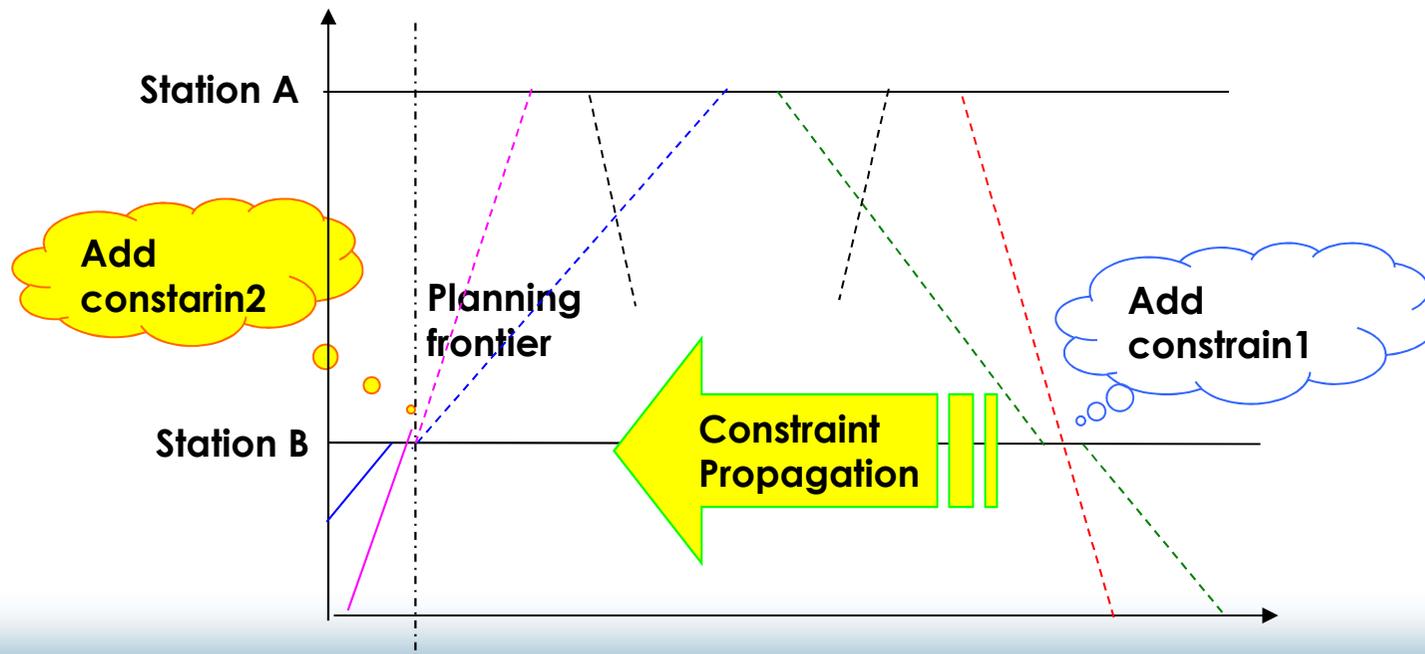
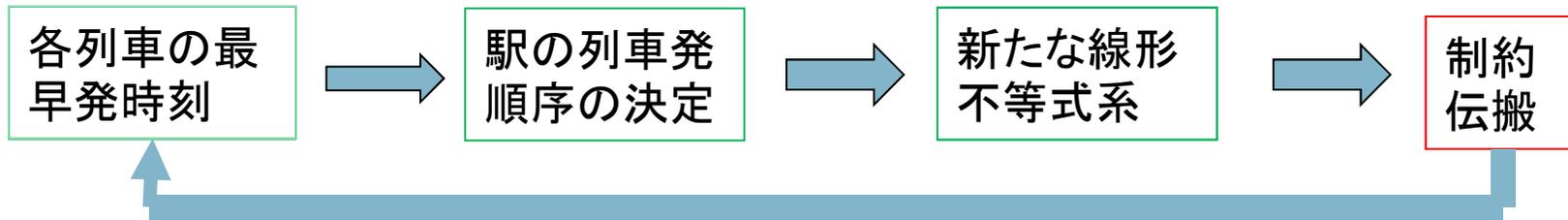


k : Line Capacity between Station A and Station B

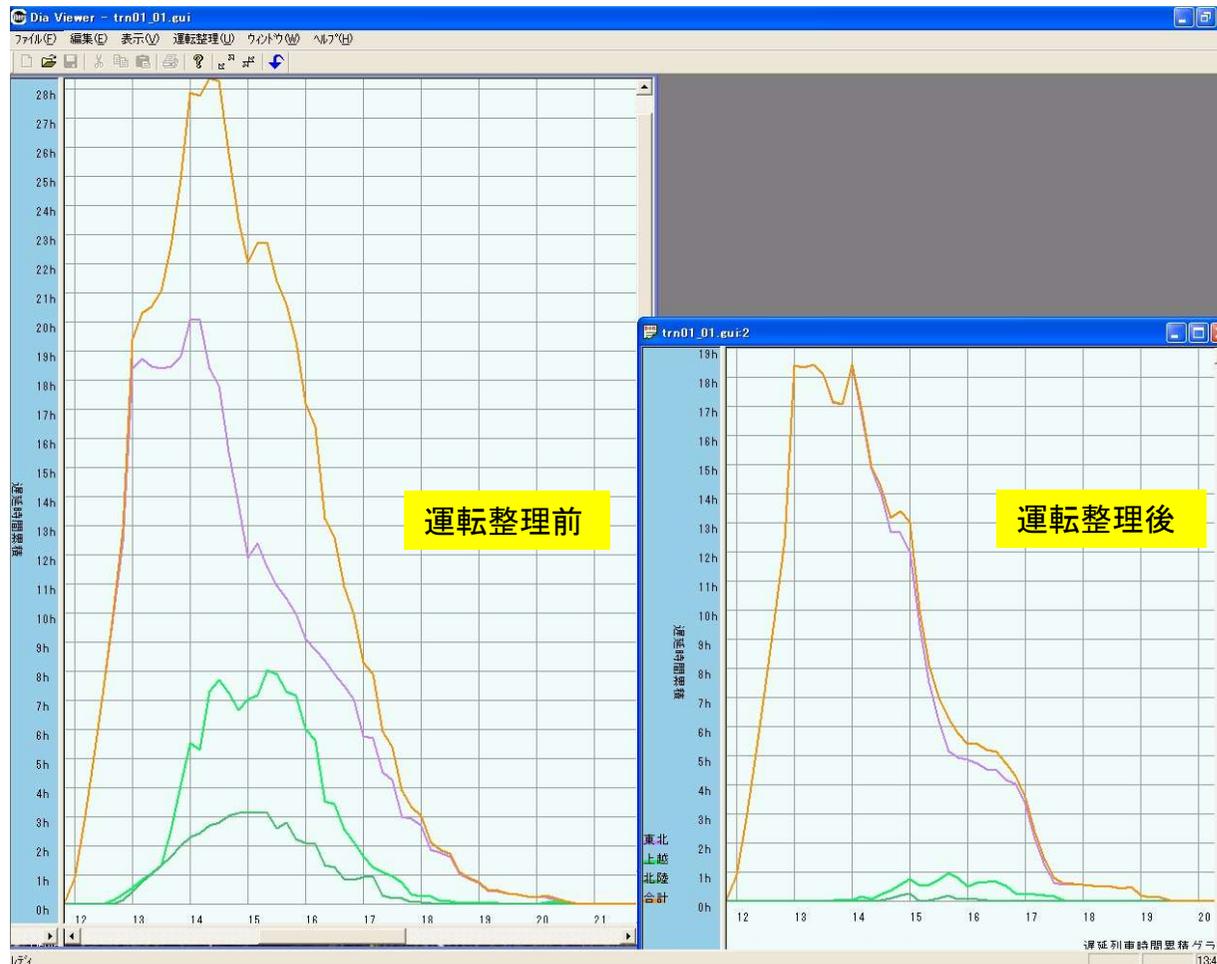
Constraint: `Queue_constraint({..., train1, train2, train3, ...}, Q_AB, k)`

制約ベースのアプローチ

緩和問題: 列車ダイヤを列車の発・着時刻の線形不等式の集合で表現



列車総遅延時分



Key point: 列車ダイヤの不等式系による表現、制約プログラミングによる制約伝搬

Math-Model Research Inc.

プロ野球のCS クリンチ・ナンバー決定

プロ野球では、3位までのチームによるクライマックス・シリーズがあり、出場に必要な今後の勝利数、クリンチ・ナンバーが重要な指標である。

順位の決定法

レギュラーシーズンの順位は勝率を基準とする。

同一順位の解消法

勝率が並んだ場合は以下のように順位を決める。

セ・リーグ

勝利数が多い球団

直接対決で勝ち越している球団

前年度順位の上位球団

パ・リーグ

直接対決で勝ち越している球団

セ・パ交流線を除いたリーグ戦(全120試合)における勝率

前年度順位の上位球団

或るAチームが**確保**できる順位 \longrightarrow

協力ゲーム: 残りのチームが勝敗を上手く配分して、Aチームより勝率の良いチーム数を最大にする問題

$$A\text{チームの勝率} \leq B1\text{チームの勝率} + \lambda_1$$

$$A\text{チームの勝率} \leq B2\text{チームの勝率} + \lambda_2$$

$$A\text{チームの勝率} \leq B3\text{チームの勝率} + \lambda_3$$

$$A\text{チームの勝率} \leq B4\text{チームの勝率} + \lambda_4$$

$$A\text{チームの勝率} \leq B5\text{チームの勝率} + \lambda_5$$

Aチームの**確保順位**

$$= 6 - \text{Min}\{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5\}$$

非線形問題を回避した緩和問題の導入

この問題は、最初の決定因子の勝率が、全試合を集計したとき、引分けが除外されるため、

$$A\text{チームAの勝率} = A\text{チームの勝数} / \{A\text{チームの勝数} + A\text{チームの負数}\}$$

AチームがBチームより勝率が良い:

$$A\text{チームの勝数} / \{A\text{チームの勝数} + A\text{チームの負数}\}$$

$$> B\text{チームの勝数} / \{B\text{チームの勝数} + B\text{チームの負数}\}$$

→ **非線形問題**となる。

Aチームと他チームとの順位を決める場合に、Aチームの(勝数、負数、引分数)をパラメータにして計算すれば、Aチームが順位上:

$$A\text{チームの勝数(定数)} \times B\text{チームの負数} > A\text{チームの負数(定数)} \times B\text{チームの勝数}$$

→ 線形不等式となり、混合整数計画の**緩和問題**が得られ、**確保順位**、**可能順位**が求まる。

$$A\text{勝数(定)} * B1\text{負数} \leq A\text{負数(定)} * B1\text{勝数} + M * \lambda1$$

$$A\text{勝数(定)} * B2\text{負数} \leq A\text{負数(定)} * B2\text{勝数} + M * \lambda2$$

:

$$A\text{勝数(定)} * B5\text{負数} \leq A\text{負数(定)} * B5\text{勝数} + M * \lambda5$$

$$A\text{チーム確保順位} \doteq 6 - \text{Min}\{\lambda1 + \lambda2 + \dots + \lambda5\}$$

(要: 同率の場合の付加ルールに対する処理を追加)

Aチームのクリンチナンバー: 3位以内を確保するケースで、引分なしの**最小勝数**がクリンチナンバー

計算結果:9月20日 中日予想順位

SEQ	勝数	引分数	負数	勝率	確保順位	可能順位
0	6	0	0	58.15	1	1
1	5	1	0	57.85	1	2
2	5	0	1	57.44	1	2
3	4	2	0	57.55	1	2
4	4	1	1	57.14	1	3
5	4	0	2	56.73	1	3
6	3	3	0	57.24	1	3
7	3	2	1	56.83	1	3
8	3	1	2	56.42	1	3
9	3	0	3	56.02	1	3
10	2	4	0	56.93	1	3
11	2	3	1	56.52	1	3
12	2	2	2	56.11	1	3
13	2	1	3	55.71	1	3
14	2	0	4	55.31	1	3
15	1	5	0	56.61	1	3
16	1	4	1	56.2	1	3
17	1	3	2	55.79	1	3
18	1	2	3	55.39	1	3
19	1	1	4	55	1	4
20	1	0	5	54.6	1	4
21	0	6	0	56.29	1	3
22	0	5	1	55.88	1	3
23	0	4	2	55.47	1	3
24	0	3	3	55.07	1	3
25	0	2	4	54.67	1	4
26	0	1	5	54.28	1	4
27	0	0	6	53.9	1	4

引分の効果



Math-Model Research Inc.

引分を考慮しないクライマックス・ポイント

勝利数	クライマックス	ポイント												
チーム名	勝数	負数	引分数	残試合数	1位-確保	-可能	-可能	2位-確	-可能(勝)	-可能	3位-確	-可能(勝)	-可能(負)	
広島	56	80	2	6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
中日	79	61	3	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	
巨人	76	63	1	4	-1	-1	-1	-1	0	4	0	0	4	
ヤクルト	68	66	4	6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	6	0	
阪神	74	61	3	6	-1	6	0	5	1	5	1	0	6	
横浜	47	91	1	5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	

注1) 可能(勝):これより勝数が少ないと、この順位は不可能である。
 注2) 可能(負):これより負け数が多いと、この順位は不可能である。

本当に必要な情報は何か？

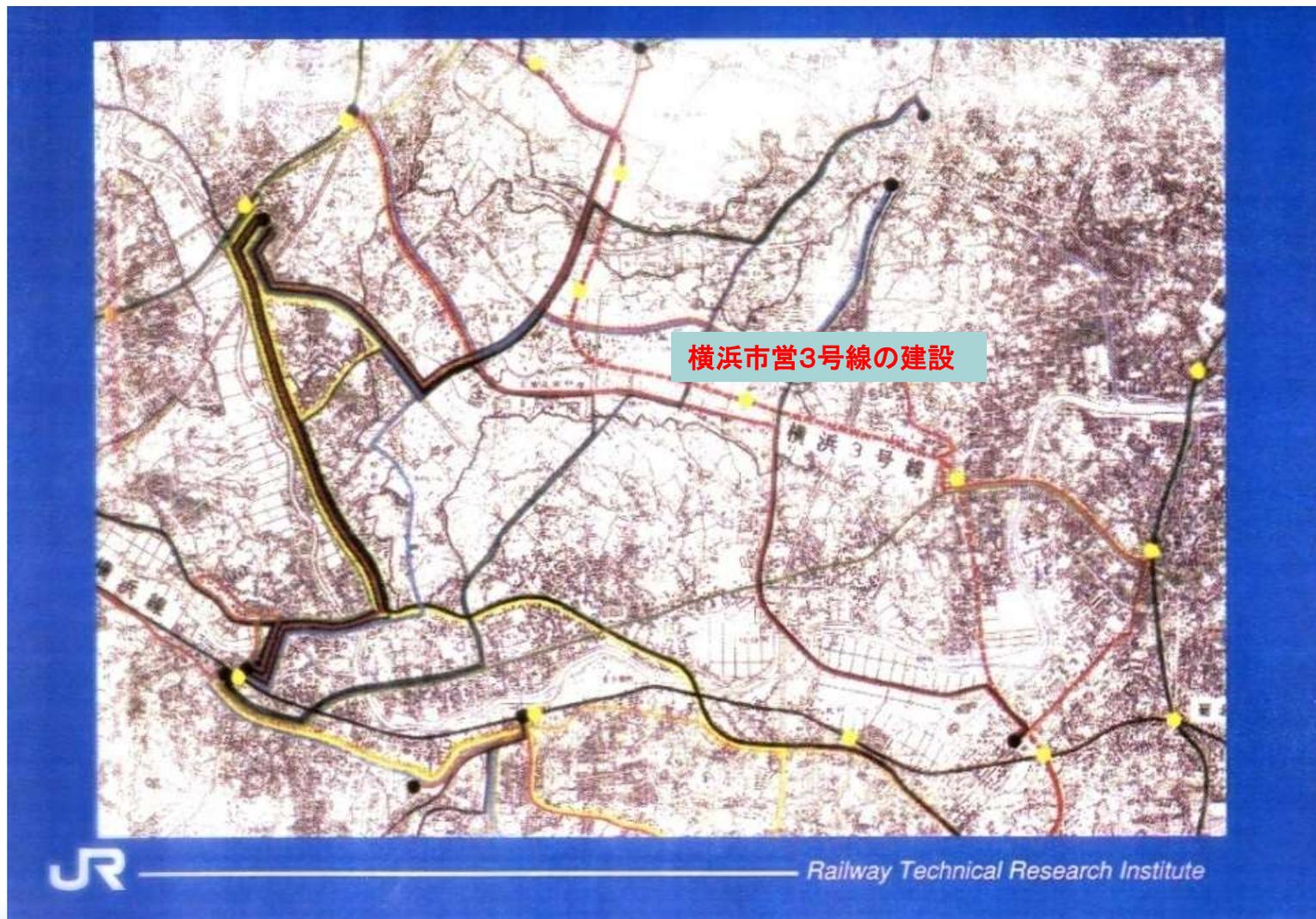
詳細_クライマックス_ポイント

チーム名	勝数	負数	引分数	残試合数	1位-確保 (勝)	最小勝	引分	可能(勝)	最大負
広島	56	80	2	6	-1	-1	-1	-1	-1
中日	79	61	3	1	1	1	0	0	1
巨人	76	63	1	4	-1	-1	-1	-1	-1
ヤクルト	68	66	4	6	-1	-1	-1	-1	-1
阪神	74	61	3	6	-1	-1	-1	4	0
横浜	47	91	1	5	-1	-1	-1	-1	-1

中日: 0勝1敗: $79/(79+62)=0.5231$
 阪神: 4勝2分: $78/(78+61)=0.5234$

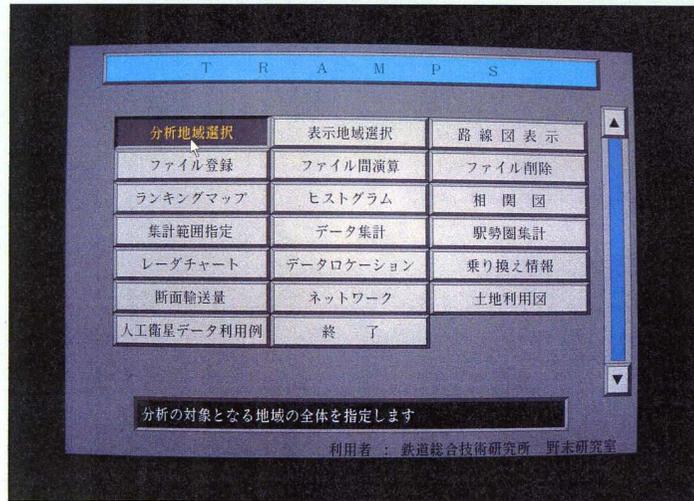
Math-Model Research Inc.

バス路線計画支援システム(統合的なモデル化)



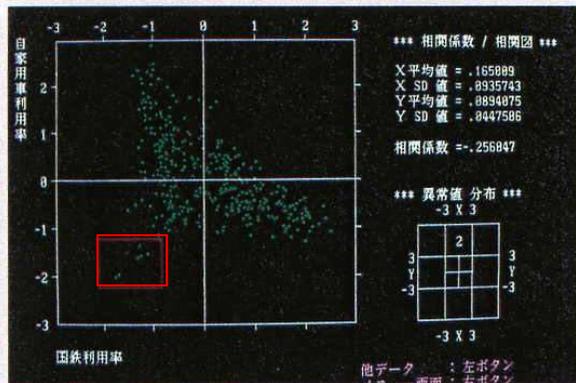
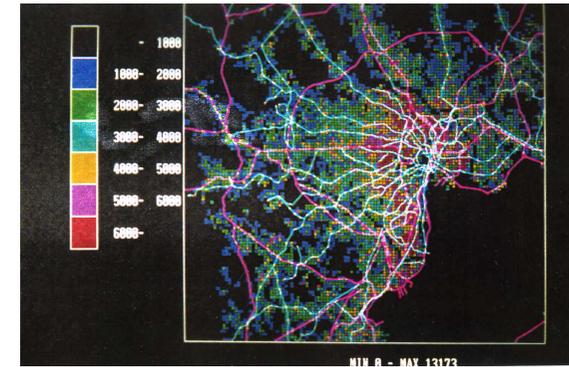
Math-Model Research Inc.

メッシュデータと地理情報処理システム TRAMPS



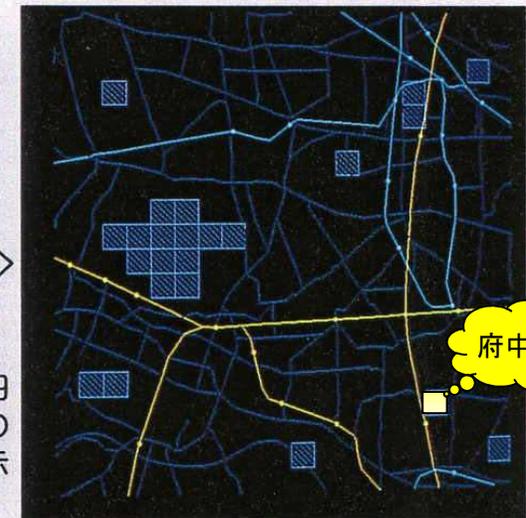
項目	値	項目	値
年齢人口	100	年齢人口	
性別別人口	200	性別別人口	
年齢別人口	210	年齢別人口	
労働力人口	220	労働力人口	
産業上の地位	230	産業上の地位	
産業別人口	240	産業別人口	
職業別人口	25-290	職業別人口	
世帯別人口	30-340	世帯別人口	
世帯別人口	35-390	世帯別人口	
利用交通手段	40-440	利用交通手段	
世帯の種別	45-490	世帯の種別	
世帯人口別種別	50-540	世帯人口別種別	
世帯種別	55-590	世帯種別	
世帯区分	60-640	世帯区分	
月賃別人口	65-690	月賃別人口	
住宅の種別	70-740	住宅の種別	
住宅の所有種別	75-790	住宅の所有種別	
居住種別	80-840	居住種別	
一戸別人口	85-890	一戸別人口	
収入の種別	90-940	収入の種別	

図2 分析データの階層



G-8
国鉄利用率と
自家用車利用率の
相関図

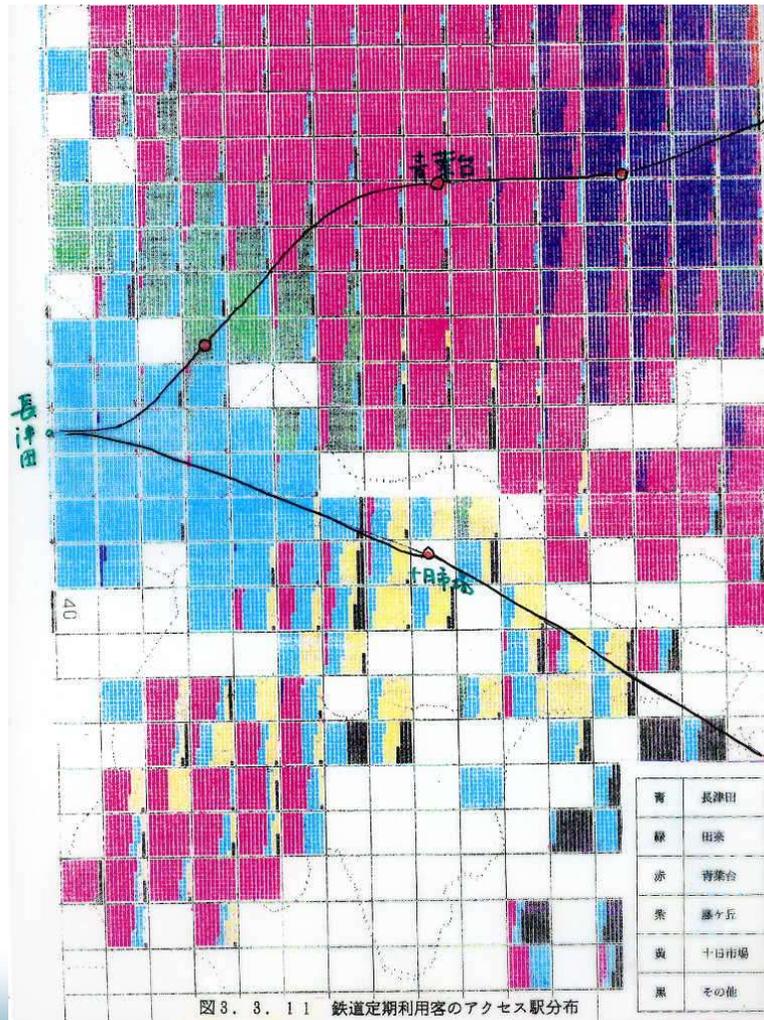
(データロケーション)



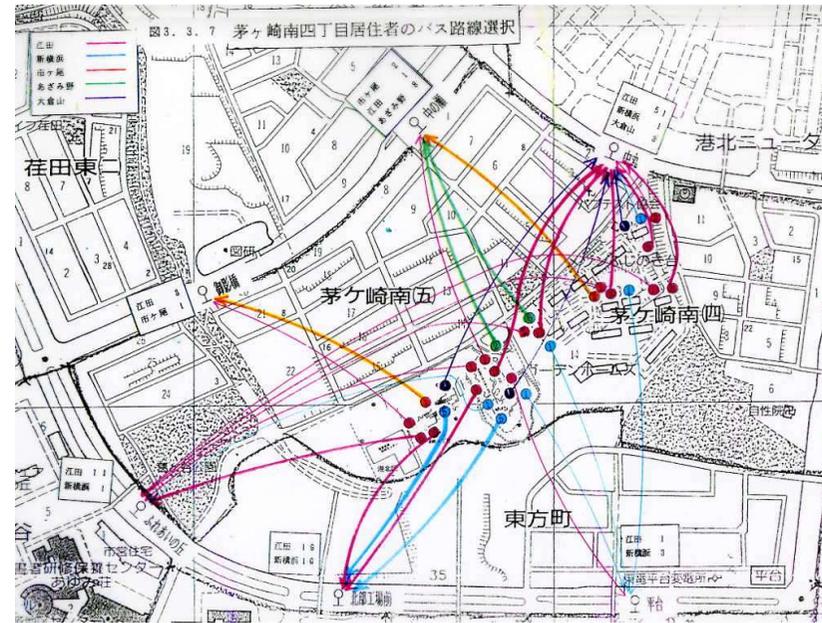
G-9
異常データの
地図上位置表示

バス利用客の選択行動(鉄道乗車駅とバス停)から見た必要な地理的解像度

メッシュ別乗車駅分布

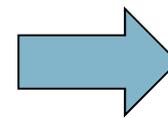


バス路線とバス停の選択



必要な**地理的解像度**

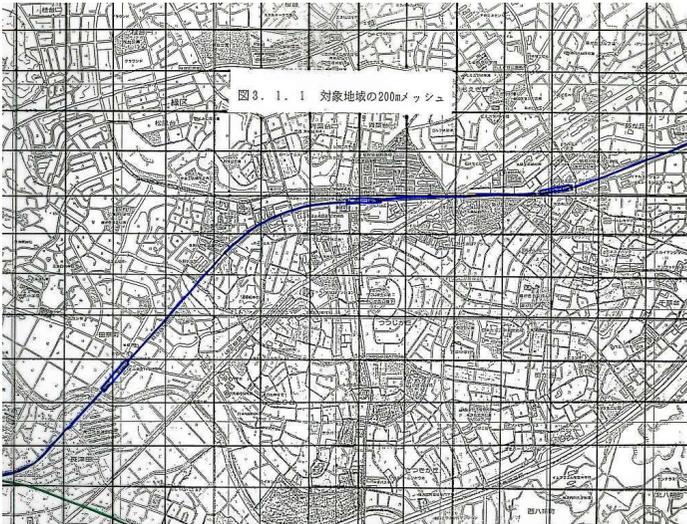
現在の国勢調査は**500mメッシュ**



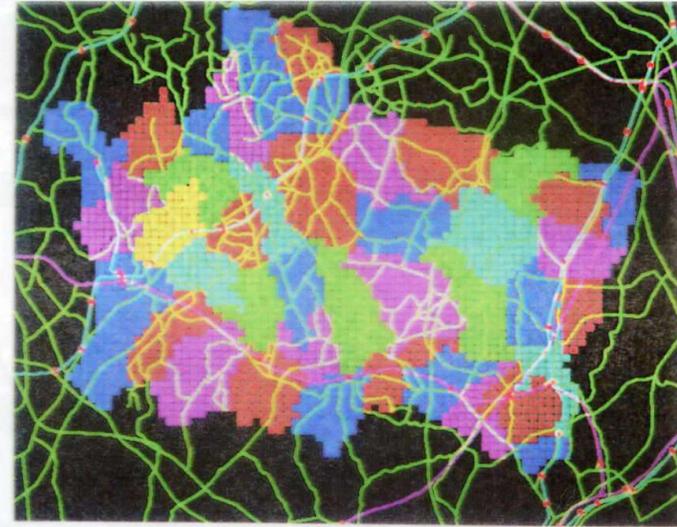
200m程度の解像度が必要

方面別通勤者の200mメッシュ・データの構築

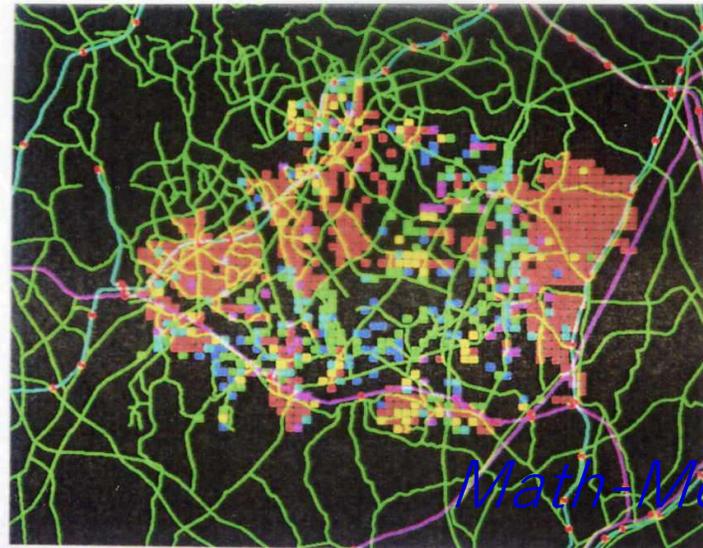
国勢調査の調査区データから200mメッシュ・通勤者データの作成



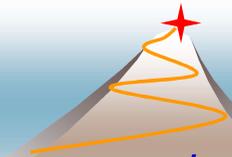
大都市交通センサスのゾーニングと方面別通勤者比率データ



都心方面通勤者の200mメッシュ・データ

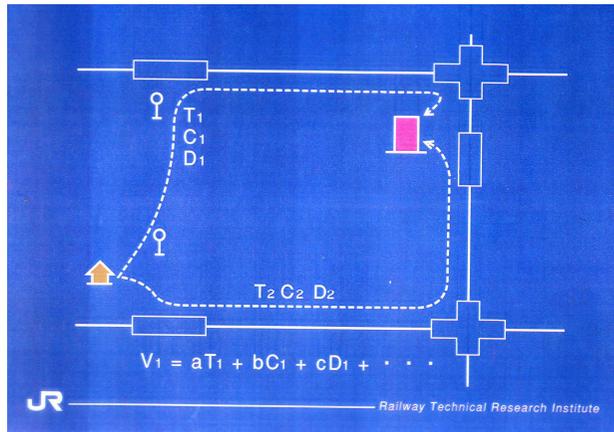


Math-Model Research Inc.



ルート選択モデルの構築

複数ルートの競合モデル



< 記入例 >

徒歩 5 分 バス 10 分 JR 30 分 徒歩 8 分

自宅 → 〇〇停留所 → 川口駅 → 新橋駅 → 職場

乗継ぎ時間: 3 分 (待ち 3 分) 乗継ぎ時間: 5 分 (徒歩 2 分、待ち 3 分)

区 間 (交通手段が変わるごとに記入してください。)	所要時間 乗継ぎ時間	交通手段							
		JR・私鉄	地下鉄	バス	車・自分で運転	車・他人が運転	バイク	自転車	徒歩
① 自宅 から ① 〇〇停留所 まで	(5) 分	1	2	3	4	5	6	7	⑧
乗継ぎ時間 →	(3) 分								
① 〇〇停留所 から ② 川口駅 まで	(10) 分	1	2	③	4	5	6	7	8
乗継ぎ時間 →	(5) 分								
② 川口駅 から ③ 新橋駅 まで	(30) 分	①	2	3	4	5	6	7	8
乗継ぎ時間 →	() 分								
③ 新橋駅 から ④ 職場 まで	(8) 分	1	2	3	4	5	6	7	⑧

確率効用モデル(実績データ)

確率効用モデル

i から j へ複数の行きかた (代替案) がある場合に、交通機関 k を利用する場合の効用: U_k

$$U_k = V_k + \varepsilon_k \quad k = 1, \dots, n$$

$$V_k = a_0 T_k + a_1 C_k + a_2 N_k + \dots$$

a_0, a_1, \dots : パラメータ

T_k, C_k, N_k, \dots : 交通機関 k の特性値

ε_k : 二重指数分布に従う確率変数

選択基準: 「効用が最大の交通機関が選択される」

交通機関 m が選択される確率 P_m は次式となる。

$$P_m = \frac{e^{v_m}}{(e^{v_1} + e^{v_2} + \dots)}$$



Railway Technical Research Institute

サンプル
の尤度
関数



開発済の
非線形最
適化ソフト

新版
数値計算
ハンドブック

大野 豊・福田和男 監修



オーム社

駅アクセス機関選択モデルの推定結果

要因	model	model 1	model 2	model 3
駅までの徒歩時間 (分)	-0.36267 (8.17)	-0.29860 (6.96)	-0.76152 (6.61)	
二輪車での駅までの所要時間 (分)	-0.79623 (8.25)	-0.00848 (0.03)	-0.3976 (1.35)	
バス停までの徒歩時間 (分)	-0.52197 (4.49)	-0.58224 (5.20)	-0.29785 (2.45)	
バス乗車時間 (分)	-0.30164 (2.73)	-0.02874 (0.241)	-0.21738 (1.60)	
バス待ち時間 (分)	-0.21645 (4.94)	-0.26471 (5.60)	-0.14731 (2.74)	
二輪車ダミー		-6.29425 (3.13)	-10.4577 (3.85)	
バスダミー			-8.76163 (4.89)	
充度比	0.396	0.417	0.494	
機関	サンプル数	的中サンプル数 (%)		
徒歩	62	39(62.9)	38(61.3)	49(79.0)
一輪車	37	20(54.1)	20(54.1)	15(40.5)
バス	113	103(91.2)	104(92.0)	104(92.0)
計	212	162	162	168
的中率 (%)		76.4	76.4	79.3



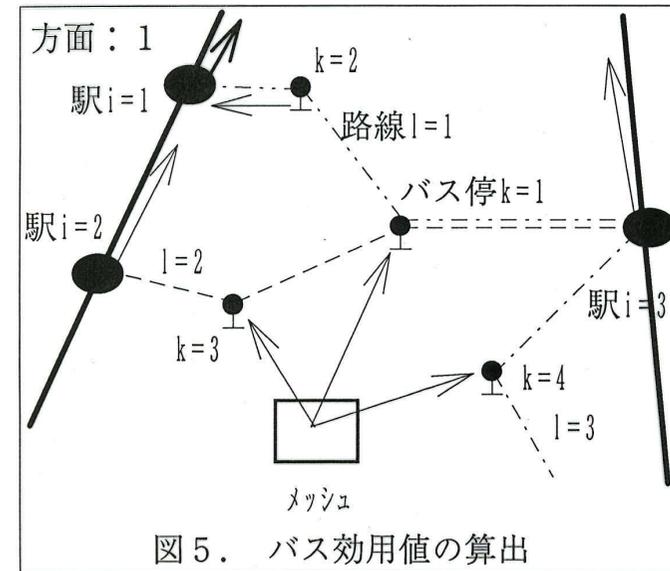
Railway Technical Research Institute

Math-Model Research Inc.

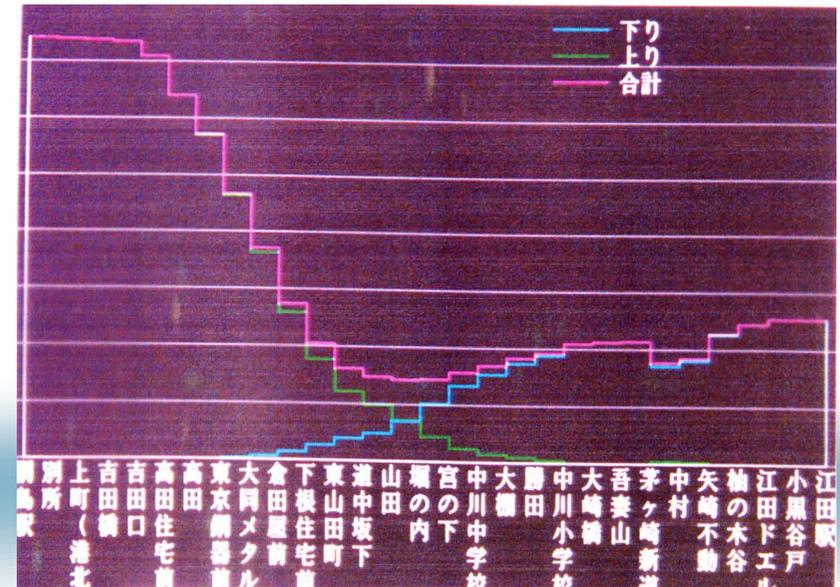
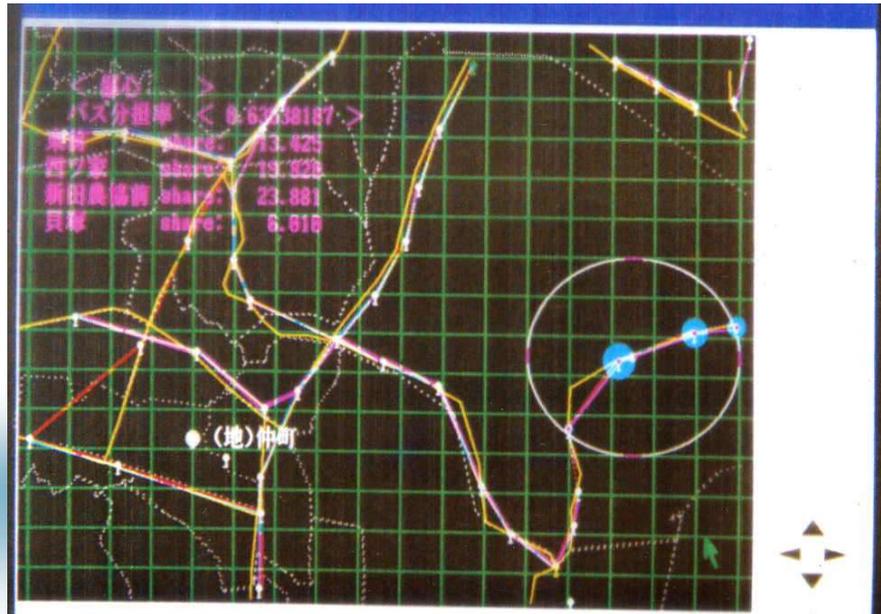
バス輸送量推定

バスルートと停留所の選択

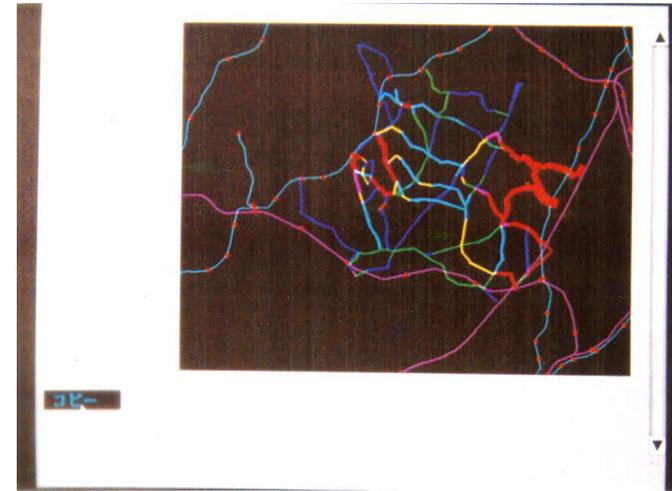
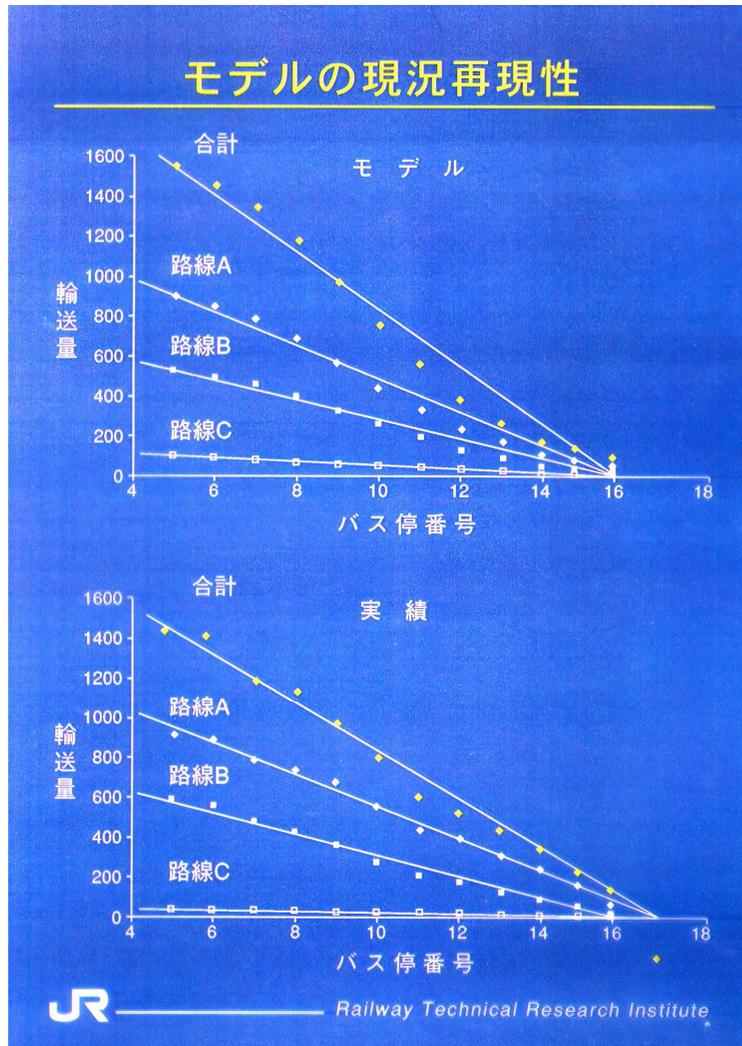
- ・バス停とバス路線網の構築
- ・メッシュ中心から近傍のバス停アクセス
- ・バス停から目的地までのルート
- ・各ルートの利用特性の生成
- ・近傍バス停経由のルート利用率の推定
- ・各メッシュのルート別利用客 = ルート利用率 × メッシュ方面別人口
- ・バスルートの乗降人員 = 各メッシュの当該ルート利用客の集計



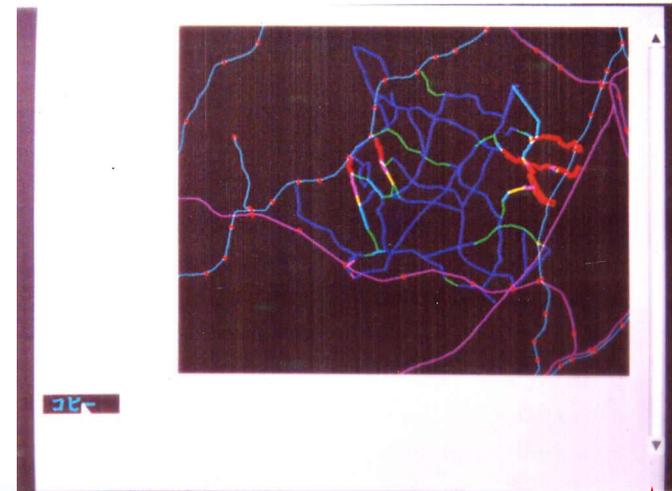
推定断面交通量



地下鉄開業後のバス輸送量推定



開通前



開通後

Math-Model Research Inc.

ORの理論によるモデル化は、なぜ上手く行かないのか？

1. 問題の把握

問題は徐々に分かる

2. 適用可能なORモデルの探索

モデルを見つけられない

3. モデル化

モデルが単純すぎる

4. 解の探索法の適用

データが無い
答えが出ない

5. 解の評価

解の質が悪い／評価が困難

6. 問題への解の適用

実用上の制約を満たさない

7. 状況の変化に対応

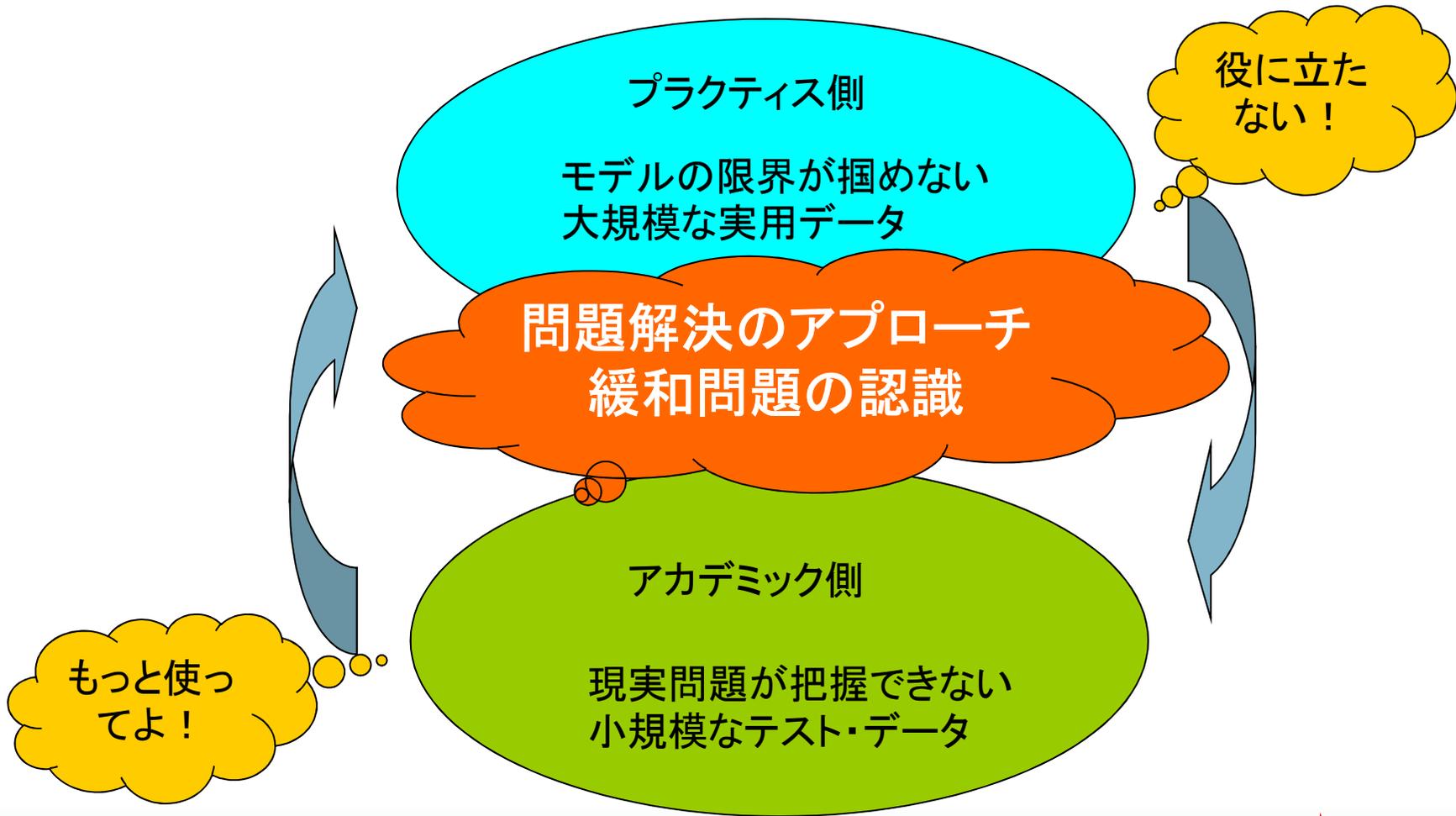
解の連続性が無い
モデルが改修できない

8. 問題解決？

ORは役に立たない？

Math-Model Research Inc.

ORのモデル・理論は、実践的か？



参考文献

- 1) 野末:意思決定支援システムの開発と統合モデリング, オペレーションズ・リサーチ, Vol 50, No 4, pp.233-237, 2005
- 2) 野末:工具箱としてのOR, オペレーションズ・リサーチ, Vol 52, No 3, pp.135-140, 2007
- 3) 野末:多変数関数の極小化, 数値計算ハンドブック (共著), pp.791-805, 1990
- 4) 野末, 他: 地理情報処理システム「TRAMPS」の開発, 鉄道総研報告, Vol 2, No 2, pp.11-18, 1988
- 5) 野末:制約プログラミングによる大規模計画システムの開発とその課題, 計測と制御, Vol 50, No 7, 2011
- 6) 野末:混合整数計画法(MIP)を使おう:モデル化の実際とその背景, ILOG Optimization Seminar for OR Experts, 2006
http://www.mathmodel.co.jp/ILOG_OPT_Seminer_2006_Rev_2.pdf
- 7) 野末: Railway Rescheduling System Based on Constraint Programming, ILOG User Meeting 2002
http://www.math-model.co.jp/ILOG_User_Meeting.pdf
- 8) 野末:列車乗継案内システム (EST3) の開発, 鉄道総研報告, Vol 5, No 7, pp.43-46, 1991