1994年度

修士論文

論題：

メモリベース推論による観光経路決定支援

指導教員	山崎 勝弘 教授

立命館大学大学院理工学研究科

修士課程 情報工学 専攻 No. 6027930015–0

氏名	西村 高志

内容梗概

本論文では，観光経路決定支援問題にメモリベース推論を適用し，高並列マシンAP1000上に大規模事例ベースを実現し，事例検索を並列に行って経路を生成するシステムとその評価について述べる．

システムの構成は，大規模事例ベースの実現のために，大量の事例の自動生成を行う事例生成部，指定された観光地に対して，並列に類似事例検索を行う事例検索部，及び検索された事例に対し，指定された条件と異なる部分の修正を行う事例修正部から成る．

本システムにおける事例ベースは，京都の観光地を5つのブロックに分けた事例から成っている．各事例には，観光地名，テーマ，ブロック，経路(交通手段，移動時間)，及びその経路の長さといった情報が含まれている．ユーザによる観光地指定に対し，観光地をブロックに分割し，各ブロックに対して事例検索部で最も類似する事例を検索する．類似事例があれば事例修正部でブロック毎の修正後，ブロック間の接続を行い経路を生成する．また，各ブロックを2つに分割したサブブロック単位の事例も用意している．

以上の構成からなるシステム上で，事例数を160～160000，AP1000のセル台数を4台～64台に変化させて，実行時間と解の質などの比較，評価を行った．また，従来のルールベース推論による結果との比較，ブロック単位の事例を用いた場合とサブブロック単位の事例を用いた場合の比較も行った．その結果，事例数160000でセル16台から64台に対し，事例検索時間は最大3.42倍の相対速度を得た．またルールベース推論の実行時間に対し，メモリベース推論では平均で1/20，最大で1/100まで短縮することができた．事例修正時間，交通手段作成時間は共に一定となり，解の質も移動時間の観点で，メモリベース推論の方が優れていることが分かった．また事例検索率，検索した事例の平均相互含有率も事例数の増加に比例して良くなり，小中規模ブロックにおける実験では双方とも90%以上となった．サブブロック単位の事例を用いた場合，ブロック単位の事例に対し，検索効率も良く，より少ない事例数で検索時間を大幅に減らすことができた．

目 次

図目次

表 目 次

1 はじめに

近年，実用的なエキスパートシステムが多く開発されている．専門家が持つ問題解決のための知識をコンピュータ化することにより問題解決するのがエキスパートシステムの一般的な開発手法であるが，それには，ルールベース推論（Rule-Based Reasoning:RBR）を用いたものが一般的である．しかし，ルールベース推論を含め，専門家の知識をコンピュータ化する作業はかなり難しく，知識獲得ボトルネックといわれる問題を抱えている．一方，専門家が問題解決を行う場合，過去の似た事例を参考にし，新しい問題の解決を図るということが多い．このように過去の類似した事例を使用して問題解決を図ろうとするアプローチが事例ベース推論（Case-Based Reasoning:CBR）である [1]．事例ベース推論は以下の手順で行われる [2]．

(1) 新たな問題が発生したときに，事例ベースから現在の問題状況に近い事例を検索する．
(2) 検索された事例と現在の問題状況を比較し，検索された事例を新たな問題に適合させるために修正を加え，推論を生成する．
(3) 生成された推論結果が問題解決に成功した場合は，ある基準に基づいて事例ベースに格納する．失敗した場合は，失敗の原因を解析し，同じ過ちを回避するために蓄える．

ここでの事例ベースとは，過去に行った推論結果を何らかの基準に基づいて格納した事例の集合である．しかし，事例ベースそのものや，検索・修正方法などが具体的なテクノロジーとして確立されておらず，事例ベースの構築法や，事例ベースからの効率の良い検索方法，事例の適切な修正法が，事例ベース推論の現状での研究課題である．

この事例ベース推論に対して，メモリベース推論 (Memory-Based Reasoning :MBR) という推論が提案され，現在注目を集めている．メモリベース推論の考え方は，並列マシンの大容量メモリに基づいて，過去に経験した大量のエピソードや事例をできるだけ加工せずに記憶し，問題解決に際して，ある尺度に従う類似事例を検索し，事例の解をほとんど直接に利用しようとするものである [3]．

事例ベース推論では，フレーム等の構造化された事例表現を主に使用し，索引付けやヒューリスティクスを中心的に用いて事例を検索し，修正することによって解を生成する．これに対して，メモリベース推論では，一般的にフラットなデータ構造を仮定し，統計情

報を主に類似事例を検索し，その結果をほとんど直接に解として使用する [4]．

メモリベース推論は，Stanfill と Waltz によって提唱された手法で，最初は英語の発音のタスク (MBRtalk) に応用された [5]．その後，タンパク質の 2 次構造の予測 (PHI-PSI) や労働統計の分類 (Census) に応用された．また，自然言語処理にもその考えを応用した事例が発表されている [4]．

メモリベース推論の事例検索において，厳密な照合に対してはハッシング等の技法が使えるが，最良照合のための一般的な技法は存在しないので，記憶上を網羅的に探索することが要求される．このため，大規模なメモリベース推論を実現するためにはコネクションマシンのような大規模並列マシンの利用が不可欠となる [3]．

本研究におけるメモリベース推論実現のために，富士通開発研究所で開発された分散メモリ型の並列計算機 AP1000 を使用する．AP1000 は最大 1024 台の，セルと呼ばれる高性能プロセッシングエレメントを，T-Net(Torus Network), B-Net(Broadcast Network), S-Net(Synchronized Network) と呼ばれる 3 種類のネットワークで接続した構成をとっている [7] [8]．

巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem:TSP) は，複数の座標点 (都市) が与えられた時に，各点を 1 回だけ通過する巡回ルートの中で距離が最も短いものを決める問題である．都市の位置は，X-Y 座標により与えられ，距離にはユークリッド距離を用いる．この種の問題は，全ての組合せを数え上げるアルゴリズムを用いた場合，相当な計算労力を要する組合せ問題である．規模の大きな組合せ最適化問題は，近似解 (準最適解) を求めることで妥協せざるを得ない場合が多い．この巡回セールスマン問題に対し，事例ベース推論を適用することが考えられている．事例ベース推論の枠組みを用いて得られる解は，一般には最適解ではないが，既存の問題解決事例を利用し，新規の問題に対し効率良く準最適解を求めることができると考えられている [9]．

本研究では，京都における複数観光地の経路を決定する問題を取り扱っているが，観光地数が増えるにつれ，これをルール的に解決するには，巡回セールスマン問題と同様に相当な計算労力を要する．このため，この観光経路決定支援問題に対し，事例ベース推論を適用することを考えた．

従来の研究では，事例ベース推論とルールベース推論各々で観光経路を作成することによって，両者の比較，評価を行い，事例ベース推論の有効性を明らかにすることを目的とした．またユーザにわかりやすいユーザ・インターフェースも作成し，実際に使用できるものを目指した [14]～ [19]．

システムは事例ベース推論部，ルールベース推論部，及びユーザインタフェース部から成る．事例ベース推論部は，指定された観光地が持つテーマ，ブロックを基に類似事例を検索する事例検索部，検索した事例に観光地の追加，削除を行う事例修正部，及び事例修正した部分の交通手段を求める交通手段作成部で構成されている．事例検索部において，単一の事例を検索する場合と，ブロックの事例を複数個検索する場合がある．これは，指定観光地数により選択する．また，解は指定観光地以外のものを含む紹介ルートと，指定観光地だけの直接ルートがある．事例ベースは長さ6までの事例44個から成る事例ベースAと，長さ12の事例22個から成る事例ベースBの2つがある．ルールベース推論は，指定観光地に対し，大局的貪欲法[21]により最短距離で経路を生成する経路生成部，各観光地間の交通手段を求める交通手段作成部で構成されている．

このシステムに対して，事例ベース推論とルールベース推論の各々による実行時間と解の質の比較，評価を行った．その結果，実行時間では観光地数nに対し，事例ベース推論は$O(n)$になり，ルールベース推論は$O(n^2)$で増加することが分かった．観光地数9以上では事例ベース推論の方が良くなり，最大で観光地数80のとき1/8に短縮できた．解の質では，移動時間の観点で両者共にほぼ同等の解が得られた．しかし事例ベース推論において，事例検索率が最低で1%以下となり，事例修正にかかる負担も全体の80%以上と大きくなる問題点が挙がった．[18]．

本研究では，メモリベース推論に基づき，高並列マシンAP1000を用いて大規模な事例ベース上での並列事例検索を実現する．以下に本研究における目的を挙げる．

- メモリベース推論のスケジューリング問題への適用とその有効性の確認
- AP1000による並列事例検索の有効性の確認
- 大規模事例ベース使用による事例修正負担の軽減
- メモリベース推論, 事例ベース推論, ルールベース推論の実行時間，解の質(移動時間，直線距離)における比較

本システムの推論方法は，指定観光地をブロック単位に分割し，各ブロックにおける類似事例の選択，各ブロックの類似事例の修正，ブロック間の事例接続，及び交通手段の作成の順に行うことにより解を求める．事例ベースは，移動時間が最短になるように，事例生成部によって自動生成された事例を用いている．また，事例にはブロック単位のものと，各ブロックを2つに分割した，サブブロック単位のものがある．

事例ベースは，AP1000上の各セルに分散されており，類似事例の検索は，AP1000の各セルにおいて並列に行う．検索方法は，指定観光地と事例観光地の一致度を調べ，各事例の相互含有率が75%以上で最も高いものを類似事例として選ぶ．類似事例の修正法はまず，検索されたブロックの事例に，含まれていない指定観光地を追加し，指定観光地以外の観光地を削除する．そして，各ブロックの事例を距離が最短になるように接続を行い，最終的な経路を求める．

本実験は，乱数により観光地を指定し，事例ベースの事例数を徐々に増やし，セル台数を4台から64台まで使用して，メモリベース推論による実行時間とその解を計測することにより評価を行う．まず，AP1000で並列に類似事例検索を行った時間，事例修正，交通手段作成時間の計測を行う．また，テスト回数に対する事例検索率，検索された事例の平均相互含有率についても計測を行う．解である経路の評価は，事例数の増加に対する経路の直線距離，移動時間を計測して行う．また，ルールベース推論との比較のため，ルールベース推論における実行時間，解の計測，更に，ブロック単位とサブブロック単位の事例を用いた場合の比較のため，サブブロック単位の事例を用いた実験を行う．

本論文では，まず2章で従来の観光経路決定支援システムの構成について述べる．次に3章では，AP1000を用いた本システムの構成，事例生成部，及び類似事例の検索や修正などのメモリベース推論による経路生成方法について述べる．また4章では，ブロック単位，サブブロック単位の事例の構成と，それぞれの場合における事例の検索，修正方法について述べる．そして5章ではシステムの評価を行うために，事例数，AP1000のセル台数を変えて，実行時間，解の質などを計測し，比較，評価する．また，従来のルールベース推論との比較や，ブロック単位とサブブロック単位の事例を用いた結果の比較も行い，考察する．最後に6章では，本研究の成果と今後の課題を述べる．

2　観光経路決定支援システム

本章では，従来の観光経路決定支援システムの構成，事例ベース推論による経路生成方法について述べる．

2.1　システム構成

システムの構成を図1に示す．以下に各モジュールの役割について説明する．

1. ユーザインタフェース部

ユーザインタフェース部は，観光地説明や地図表示によって，ユーザが観光地を指定する入力部と，推論による結果を経路と地図で表示する出力部で構成されている．

2. 制御部

制御部は指定された観光地に対し，事例ベース推論部を起動して類似事例検索，修正を行い解を求める．ここで類似事例が存在しなければ，ルールベース推論部を起動して解を求める．

3. 事例ベース推論部

事例ベース推論部は事例検索部，事例修正部及び交通手段作成部に分かれる．事例検索部ではユーザの指定観光地に対する類似事例を検索し，事例修正部では検索した事例の修正を行う．そして，交通手段作成部で事例修正した観光地間の交通手段を求めて解とする．

4. ルールベース推論部

ルールベース推論部は経路作成部と交通手段作成部に分かれる．経路作成部では観光地の座標を基に，大局的貪欲法を用いて最適解にできるだけ近い経路を作成し，交通手段作成部では事例ベース推論部と同様に各観光地間の交通手段を求めて解とする．

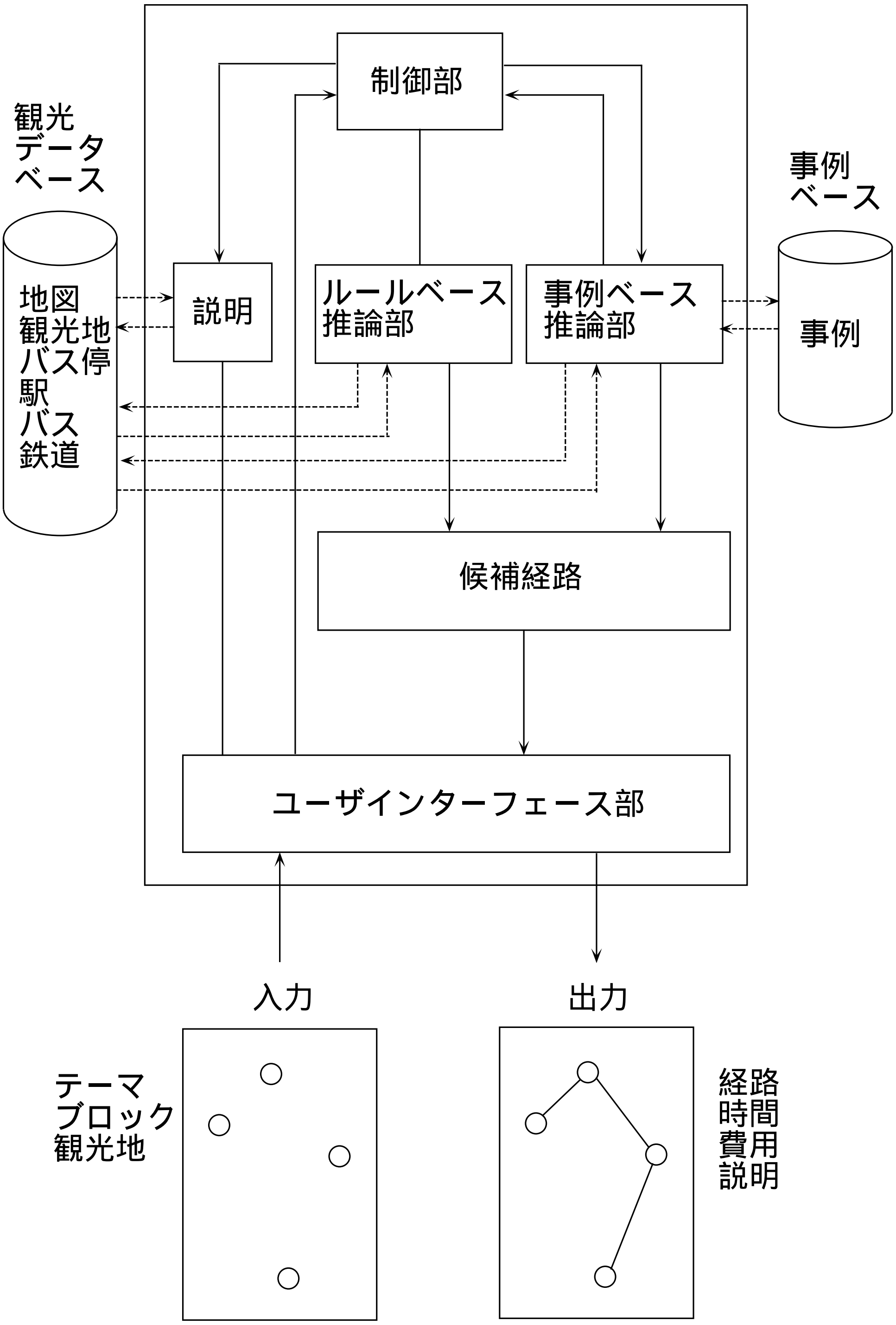

制御部
観光
データ
ベース
事例
ベース
地図
観光地
バス停
駅
バス
鉄道
説明
ルールベース
推論部
事例ベース
推論部
事例
候補経路
ユーザインターフェース部
入力
出力
テーマ
ブロック
観光地
経路
時間
費用
説明

図 1　システム構成

2.2　事例ベース推論による経路生成

まず事例検索部で，指定された観光地が持つテーマ・ブロックから候補事例を決め，各候補事例の類似度を求める．そして類似度の高い事例から，その含有率 (指定観光地に含まれる事例観光地数の割合) を求め，50%以上であればその事例を類似事例とする．複数事例を用いる場合，候補事例はブロックの事例のみとし，同様に類似度を計算する．そして類似度の高い事例から調べ，各ブロック内の指定観光地に対する含有率が 50%以上で，含有数が 3 以上であれば類似事例とする．これを全ての候補事例に対して行い，最後に全指定観光地に対する含有率が 50%以上のとき，複数の類似事例が検索されたことになる．

次に事例修正部で，事例に含まれていない指定観光地をルールベース推論を用いて，最適な所に追加する．この時点で，その修正部分の交通手段を求め，これを紹介ルートとする．最後に，紹介ルートから指定観光地以外を削除し，同じく修正した部分の交通手段を求めたものを直接ルートとする．また複数事例を利用したときは，各事例を修正した後に事例間の接続を行い，経路を求める．この場合は直接ルートのみ求める．

2.2.1　事例ベースの構成

各事例は名前，テーマ，ブロック，長さ，及び実際の経路から構成されている．経路は観光地の最寄りのバス停 / 駅，観光地間の移動手段，乗換駅，所要時間を保持する．名前は代表的なコースを示す「標準」の他に，観光テーマ別に 5 種 (庭・建築・仏像・絵・伝統工芸)，ブロック別に 5 種 (洛中・洛東・洛北・洛西・洛南) がある．事例ベースは長さ 6 までの事例 44 個から成る事例ベース A と，長さ 11,12 の事例 22 個から成る事例ベース B の 2 つがある．図 2 に事例の表現を示す．図 2 は事例ベース A の建築 3 の事例で，経路の長さは 5 である．

2.2.2　経路生成例

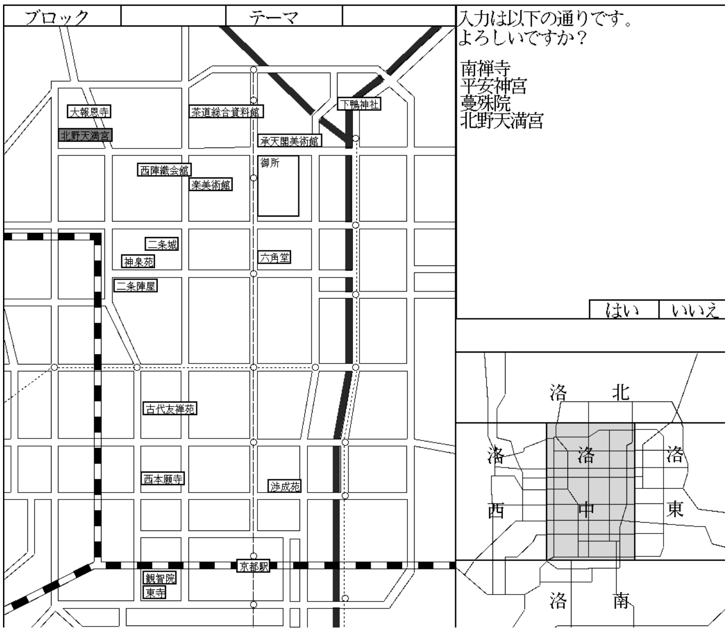
観光地指定に対し，事例ベース推論による経路生成の例を示す．ここでは事例ベース A 内の単一の事例により経路を生成している．図 3 に観光地指定を，図 4 に紹介ルートを，図 5 に直接ルートを示す．各図は，システムのユーザインタフェース部における画面である．

指定観光地は，図 3 のように，南禅寺，平安神宮，曼殊院，北野天満宮の 4 箇所である．この指定観光地に対し，事例検索部で，先程示した図 2 の建築 3 の事例が類似事例として検索される．この指定に対する建築 3 の事例の含有率は 75%(3/4) である．

次に事例修正部で，建築 3 の事例に含まれていない北野天満宮を最適な所に追加して，この部分の交通手段を求めたものが図 4 に示す紹介ルートである．最後に，図 4 の紹介ルートから，指定されていない銀閣寺，下鴨神社を削除し，その部分の交通手段を求めたものが図 5 に示す直接ルートである．

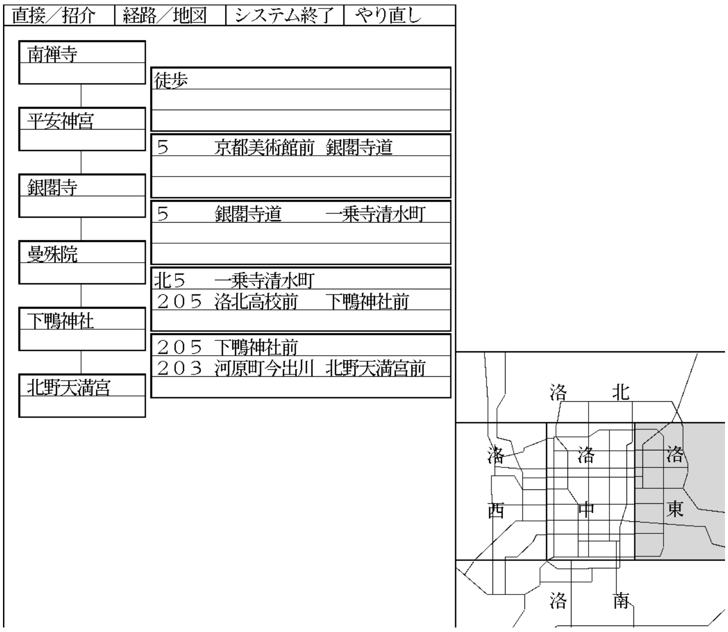
建築 3:	南禅寺	−	平安神宮	−	銀閣寺	−	曼殊院	−	下鴨神社
(テーマ)	庭建		庭建		庭建		庭建		建
(ブロック)	東		東		東		北		中
(交通手段)		歩		5		5		5 •205	
(移動時間)		15 分		15 分		30 分		30 分	

図 2　事例の表現


入力は以下の通りです。
よろしいですか？

南禅寺
平安神宮
蔓殊院
北野天満宮

図 3　観光地指定



南禅寺
平安神宮
銀閣寺
曼殊院
下鴨神社
北野天満宮

徒歩

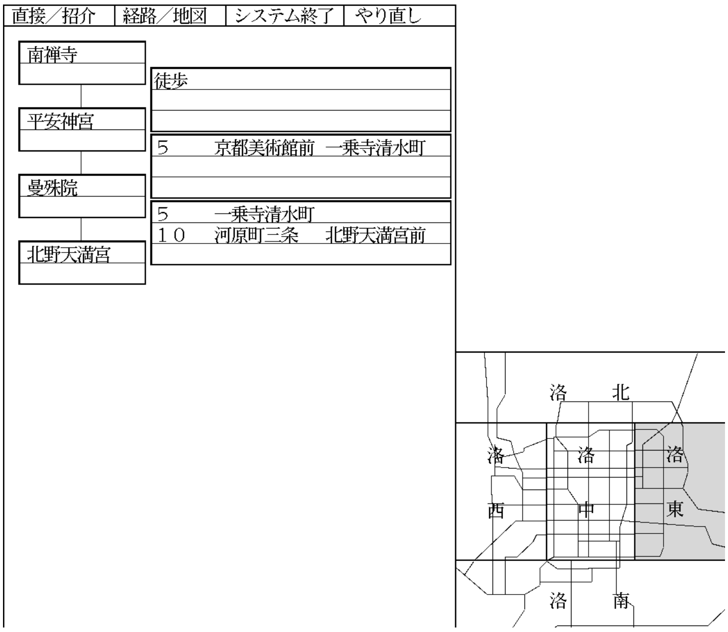
５　　京都美術館前　銀閣寺道

５　　銀閣寺道　　一乗寺清水町

北５　一乗寺清水町
２０５　洛北高校前　下鴨神社前

２０５　下鴨神社前
２０３　河原町今出川　北野天満宮前

図 4　紹介ルート



南禅寺
平安神宮
曼殊院
北野天満宮

徒歩

５　　京都美術館前　一乗寺清水町

５　　一乗寺清水町
１０　河原町三条　北野天満宮前

図 5　直接ルート

3　メモリベース推論による経路生成

本システムは，高並列マシン AP1000 上で，大規模事例ベースからの類似事例の検索を並列に行う．この効果として，事例数の増加による極めて類似した事例の検索，事例修正の処理の軽減，及び並列化による高速な事例検索が可能になると考えられる．

また事例として，ブロック (洛中, 洛東, 洛北, 洛西, 洛南) 単位の事例を扱い，複数の類似事例による経路生成を行う．この理由としては，全ブロックの事例を用意することを考えた場合，その組合せは 10^{24} 通りにも到り，各ブロックに分割することによって，事例の組合せ数を減らすことができるからである．

3.1　並列マシン AP1000 のアーキテクチャ

図 6 に AP1000 の全体構成を示す．AP1000 は，富士通研究所で開発され，メッセージ通信を基本とした分散メモリ型の並列計算機である．AP1000 は 1024 台までのプロセッシングエレメント (セル) から構成される．各セルは SPARC プロセッサ (25MHz)，キャッシュメモリ (128KB)，メッセージコントローラ (MSC)，DRAM(16MB) とネットワークデバイス (RTC,BIF) から構成される．セルの構成を図 7 に示す．セルは，三種類の独立したネットワーク T-Net,B-Net, S-Net で接続されており，それぞれ以下の役割を持つ [7] [8]．

T-Net(Torus Network)

全てのセルは，二次元トーラス構造の T-Net と呼ばれる通信ネットワークで接続されている．T-Net は RTC によって構成されており，任意セル間での 1 対 1 通信に用いられ，自動ルーティング機能によって，隣接セル間だけでなく遠隔セルとも高速に通信できる．

B-Net(Broadcast Network)

ホストと全セルは B-Net と呼ばれるもう 1 つの通信ネットワークで接続されている．B-Net はリングと階層バスを組み合わせた構成 (BIF) をしており，ホスト-セル間の 1 対多の放送通信だけではなくデータの分散，収集の機能を持つ．

S-Net(Synchronized Network)

ホストと全セルは，専用の同期ネットワーク S-Net で接続されており，バリア同期と論理積を得るステータスに使われる．S-Net はツリー状のネットワークで，時分割で同期要求をツリーのルートに対して送りだし，ルートにおいて AND された同期要求がツリーを辿って再分配される．このため，セル台数によらない高速なバリア同期が実現される．

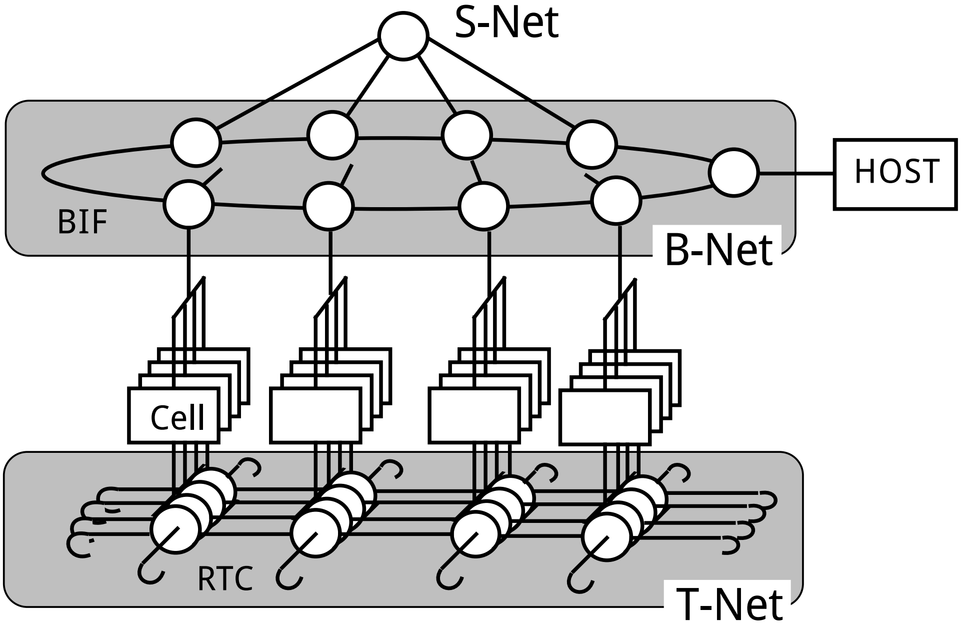


図 6　AP1000 のアーキテクチャ

また MSC によって，メッセージの送信あるいは受信におけるメッセージハンドリングのオーバヘッドを削減している．

AP1000 は数値計算 (マトリクス計算，高速フーリエ変換 (FFT))，CAD 問題，CG 等に適用できると考えられている [8]．

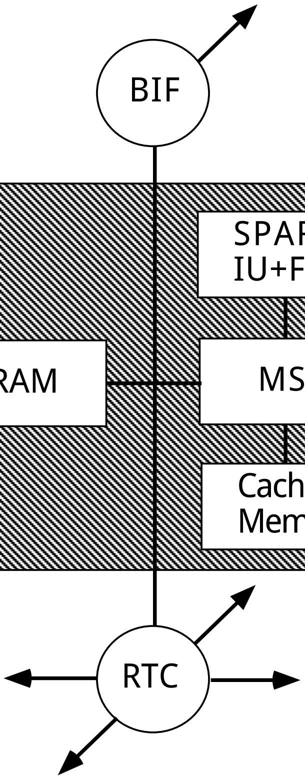


図 7　セルの構成

3.2　システム構成

図 8 に本システムの構成を示す．システムは大きくホスト (SPARC WS) と AP1000 のセルに分かれており，それぞれ以下の処理を行う．

1. ホスト

ホストではまず，大規模事例ベースから事例を読み込み，各セルへの分配を行う．そして観光地データが指定された際に，それを各セルに送り，各セルで検索された類似事例の回収を行い，その中で最類似した事例を決定する．次に，ルールベース推論部を起動して，事例の修正，交通手段作成を行い，解経路を表示する．

2. AP1000(セル)

AP1000 ではまず，ホストから分配された事例を各セル毎に受け取り，セル 1 台につき独立した事例ベースを構築する．そして，ホストから送信された観光地データに対し，各セルで並列に類似事例の検索を行う．検索後，類似事例が存在する場合は，ホストにその事例データを送信する．

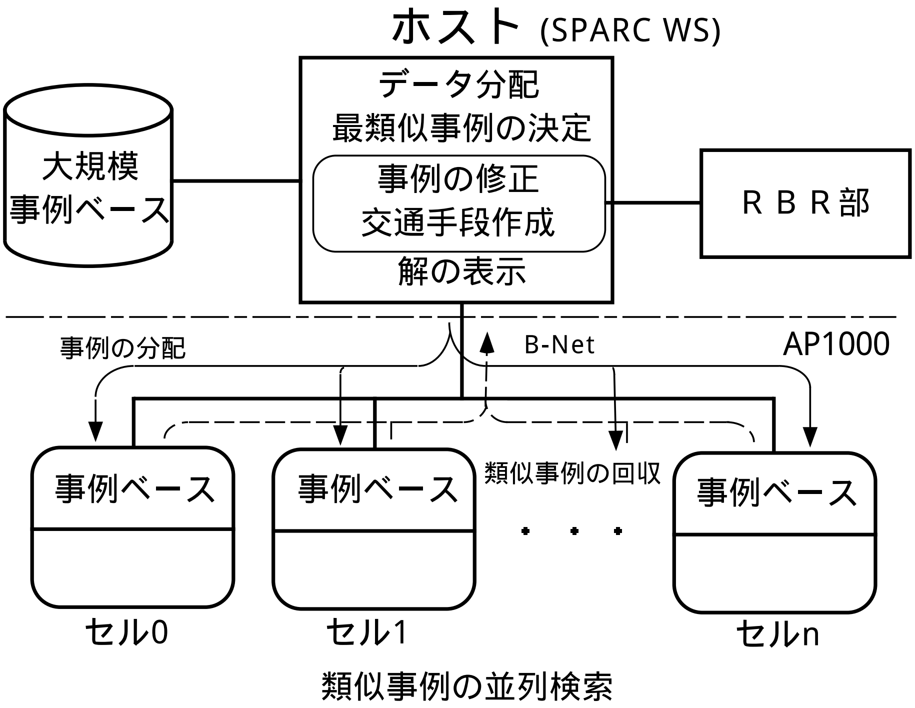


図 8　システム構成

本システムは，メモリベース推論部，ルールベース推論部で構成され，図 9 に示す流れで処理を行う．

メモリベース推論部は，大規模事例ベースを生成し，生成した事例を AP1000 の各セルへ分配する事例生成部，指定観光地を基に，AP1000 上で各ブロックの類似事例検索を行う事例検索部，検索された類似事例の修正を行う事例修正部，そして修正した部分の交通手段を求める交通手段作成部から成る．また本システムでは，各ブロックを 2 つに分割したサブブロック単位の事例による事例検索，修正も行っている．サブブロック単位の事例を用いることにより，生成する事例数を削減している．

ルールベース推論部は，大局的貪欲法によって距離が最短になるように経路を求める経路生成部，生成した経路の各観光地間の交通手段を求める交通手段作成部から成る．

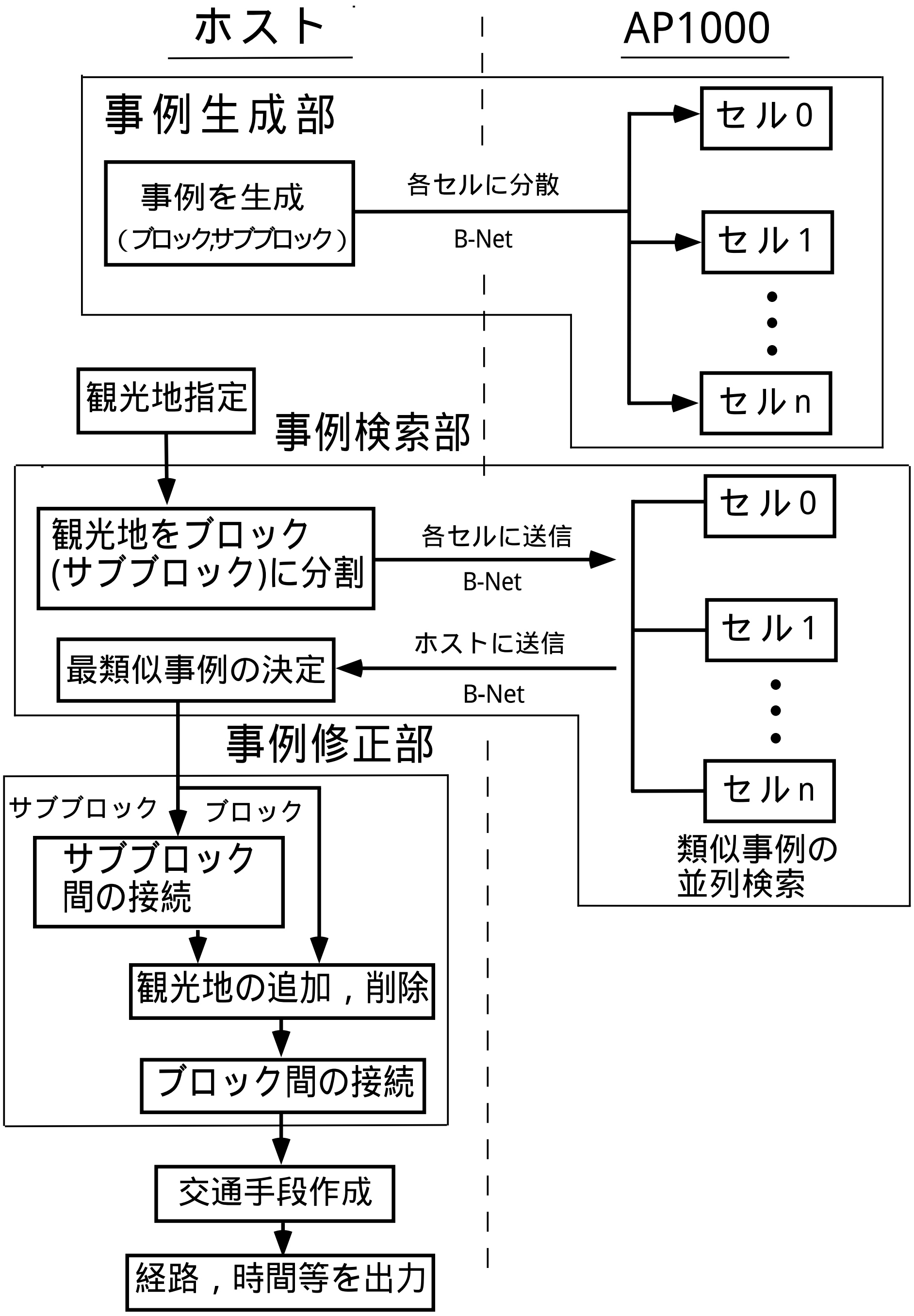


図 9　システム全体の流れ

3.3　事例生成部

事例生成部は，AP1000 上に大規模事例ベースを実現するために，事例を生成し，生成した事例を AP1000 の各セルに分配するという役割を果たす．以下に事例生成部の処理手順を示す．

(1) まず乱数を使って観光地コードを発生させる．この観光地コード発生に際し，全観光地に 3 段階の重み付け (例:金閣寺=重み 3, 下鴨神社=重み 2,etc) をしており，これにより観光地毎の発生率に変化を与えている．発生させる観光地は全てブロック単位であり，また各ブロックの長さ毎の事例数の振り分けは，観光地の組合せ (Combination) を基に，それに比例した数とする．図 10 より，実線は各ブロックの組合せ数を表し，正規分布の形になっている．点線は各ブロックの長さ毎に与えられる事例数を表し，最大数の半分の長さの事例が最も多く生成される．また各ブロックの観光地の組合せは洛東が最も多く，最も少ない洛北の約 4000 倍にもなっている．

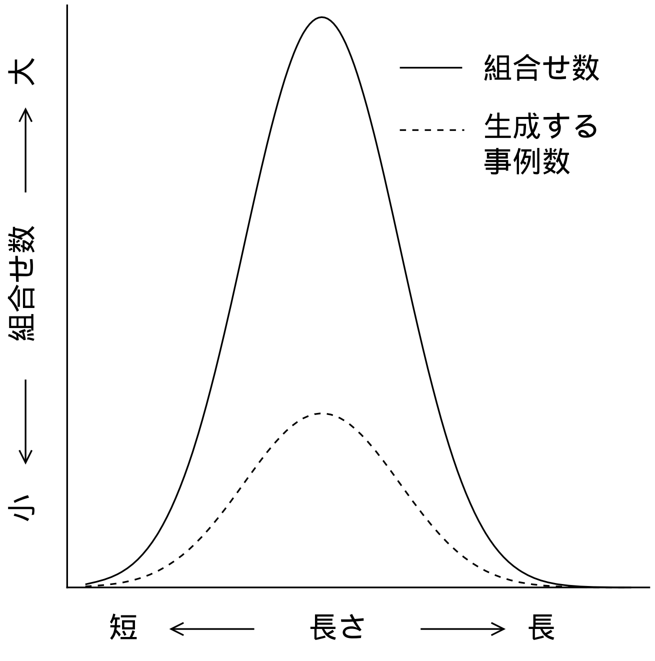


図 10　長さ毎の事例の振り分け

(2) 次に発生した各観光地の交通手段，移動時間を全て求め，移動時間が短い順にソートする．そして大局的貪欲法を用いて移動時間が最短になるように観光地を結んでいき経路を求める．ここで求めた経路が1つの事例となる．

各観光地間の交通手段は，観光データベースを基に最短となるものを選び，移動時間はその交通手段と距離から求める．移動時間の計算方法は，観光地から最寄りのバス停 (駅) までの徒歩時間，バス (鉄道) の移動時間，待ち時間の合計を取る．ここで，徒歩は4km/h，バスは16km/h，鉄道は21km/h(京福)，30km/h(地下鉄，京阪)，待ち時間は10分で計算する．この経路生成法は，ルールベース推論と同様に大局的貪欲法を用いているが，異なる点は，距離ではなく交通手段を求めた上での移動時間が最短になるようにしているところである．

(3) ここで生成した事例をファイルに書き込む．事例数が多くなる場合は分割して，複数のファイルに事例を書き込んでいく．

(4) ファイルに一旦書き込まれた事例をホストで読み込み，B-Netを使って，ホストからAP1000上の各セルに順番に分配していく．図11にホストから各セルへの事例分配の例を示す．事例の分配は各セルにおいて，各ブロックの同じ長さの事例が均等に配置されるように行う．

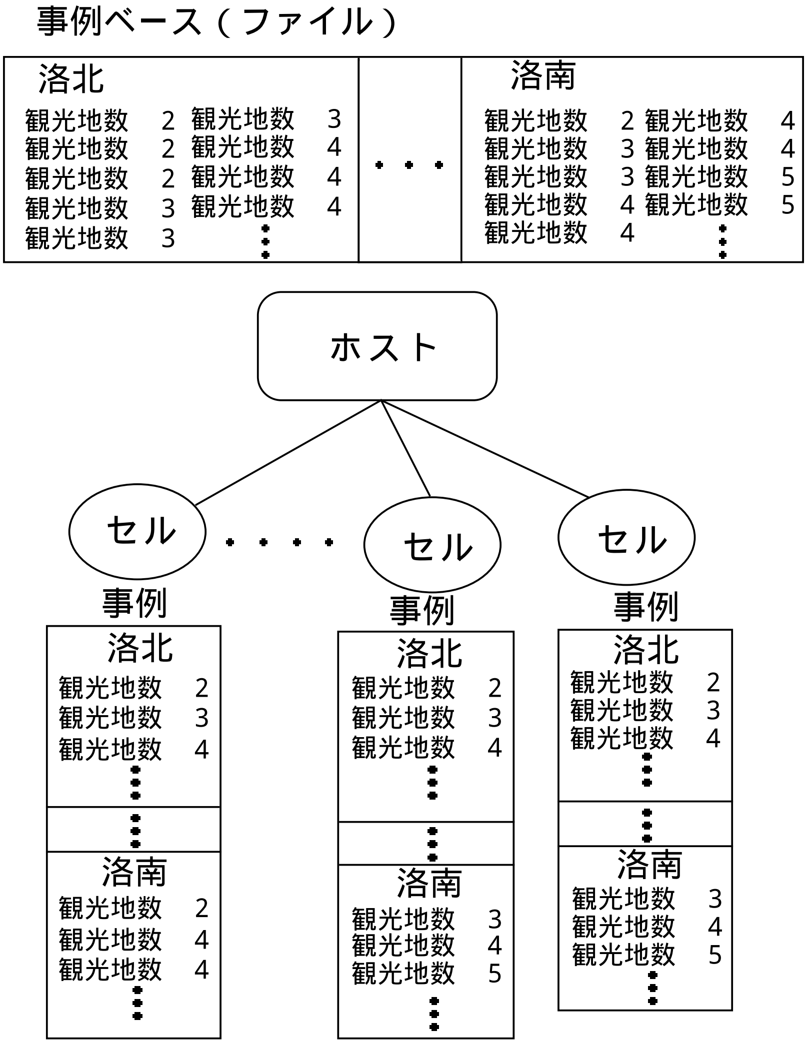


図 11　各セルへの事例分配

3.4　事例検索部

事例検索部は，指定観光地を基に AP1000 の各セル上で，並列に類似事例検索を行う．

事例検索部の処理手順としては，まず指定された観光地を，5 つあるブロック毎に分割する．そして各ブロック毎の指定観光地を B-Net を使って，ホストから各セルへ送信する．この時，ブロックで指定された観光地が 1 以下ならば，経路として成り立たないため，そのブロックの類似事例検索は行わない．この場合は，事例検索後，事例修正部で他のブロックとの接続を行うのみとなる．

各セルは，送信された指定観光地を基に類似事例検索を行う．検索方法としては，指定

観光地と事例観光地の一致度を調べ，双方に対する含有率が共に 75%以上の類似基準を満たし，その中で最も高い相互含有率を持つものを各セルの類似事例とする．ここで相互含有率 Sを (1) 式に示す．

$$S = \frac{s_n/f_n + s_n/c_n}{2} \tag{1}$$

s_n:事例に含まれる指定観光地数

f_n:指定観光地数

c_n:事例観光地数

(1) 式の s_n/f_nは指定観光地に対する含有率，s_n/c_nは事例観光地は対する含有率を表し，相互含有率 Sはこの両者の平均である．

従来のシステムでは，事例観光地に対する含有率だけを類似基準としていたが，この相互含有率を用いることにより，指定観光地との共通部分の密度が増し，事例を修正する処理を減らすことができる．

また本システムの事例検索では，照合を行う事例に対して索引付けのようなことは行っていないが，各事例の長さによって照合を行うか否かを決めている．この事例に対して照合を行う基準を (2) 式に示す．

$$\begin{cases} \frac{f_n}{c_n} \geq 0.75 & (f_n \geq c_n) \\ \frac{c_n}{f_n} \geq 0.75 & (c_n > f_n) \end{cases} \tag{2}$$

f_n:指定観光地数

c_n:事例観光地数

(2) の上式では，指定観光地数がその事例観光地数 (事例の長さ) よりも大きい場合，指定観光地数分の事例観光地数が 75%以上の時に，事例の照合を行うことを意味する．下式は，分母と分子が逆になっている．(2) 式は，その事例，または指定に対して，全ての観光地が含まれる場合の含有率を表し，これが 75%以上でなければ照合しないという最低条件である．この照合基準により，全事例を網羅的に見る無駄を減らし，効率良く，高速に類似事例を検索することができる．

そして，B-Net を使って各セルでの全類似事例をホストへ送信する．ホストでは，送信された事例の比較を行い，最も相互含有率 Sが高いものを最類似事例して経路生成に用いる．

ここで，事例検索の処理例を図 12 に示す．図 12 では 4 台のセルを使い，類似事例の並列検索を行っている．ホストから送られたブロック単位の指定観光地に対し，セル 0 では $S = 80\%$の事例 A が類似事例として検索され，セル 1 では類似基準を満たす事例はなかった．また，セル 2 で $S = 85\%$の事例 B が，セル 3 では $S = 90\%$の事例 C が検索された．そして，類似事例が検索された 3 台のセルからホストにそのデータが送信される．

ホストでは，送信された事例 A,B,C の中から相互含有率が最も高い事例 C($S = 90\%$) を最類似事例として決定する．

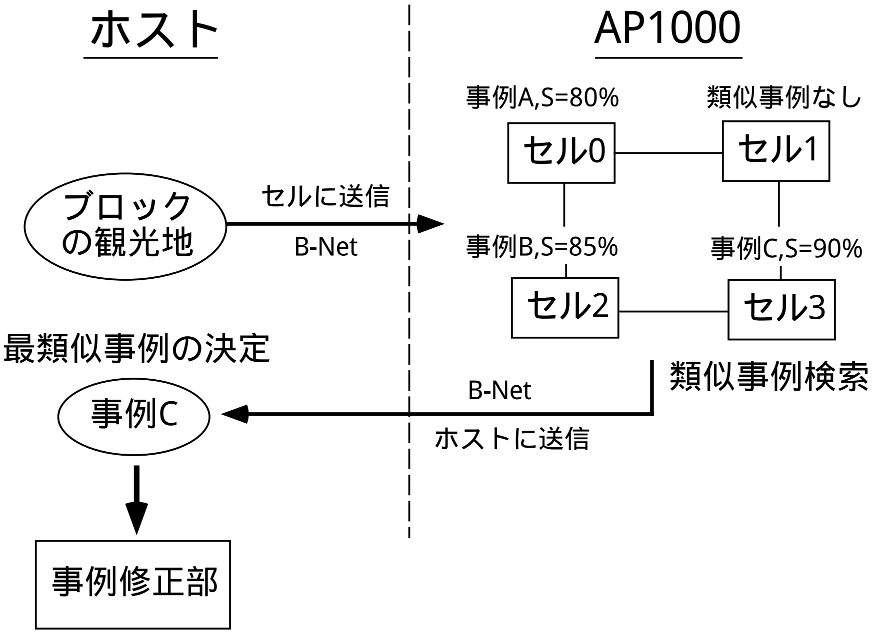


図 12　事例検索の処理例

3.5 事例修正部

事例修正部は，事例検索部で検索した各ブロックの類似事例の修正を行い，ブロック間の接続を行う．

まず，各ブロックの類似事例において，事例にない指定観光地を追加し，指定されていない観光地を事例から削除する．各ブロックの事例の相互含有率が100%である場合はこの処理を行う必要はなく，その形のまま使用する．そして，各ブロックの事例を距離が最短になるように接続していく．

ここで注意する点は，たとえ各ブロックの類似事例の相互含有率が全て100%であったとしても，少なくともブロック間の接続を行うので，完全に事例修正を行わないのは，1ブロックのみで観光地が指定された場合に限られる．

4　類似事例の検索と修正

本章では，ブロック，サブブロック単位の事例の構成を示し，それぞれの事例を用いた場合の類似事例検索，修正法について述べる．

4.1　ブロック，サブブロック単位の事例の構成

ブロックの事例は京都の観光地を洛中，洛東，洛北，洛西，洛南の5つのブロックに分割し，それぞれのブロックにおける経路である．表1に各ブロックの長さの範囲と組合せ数を示す．各ブロックにおける観光地数は，洛北，洛南では11,13と比較的少なく，洛東，洛南では23,22と多くなっている．洛中は17で両者のほぼ中間である．全事例の組合せ数は1200万以上となり，これを100%実現するには，かなりの容量，時間等を要する．また，各ブロックの組合せ数の差は，最小の洛北2036に対し，洛東が830万とかなり大きい．このため事例検索における負荷は，ブロックによって大きく異なると考えられる．

表1　各ブロックの組合せ数

ブロック	事例の長さの範囲	全ての組合せ数
洛中	2～17	131054
洛東	2～23	8388584
洛北	2～11	2036
洛西	2～22	4194281
洛南	2～13	8178
	計	12724133

サブブロック単位の事例は，各ブロックを位置的に独立した2つのサブブロックに分割し，その中での経路である．各サブブロックに属する観光地を表2に，長さの範囲と組合せ数を表3に示す．各サブブロックの観光地数は最小で5，最大で13とブロックに対して少なく，事例の組合せ数としても，全体で15988通りと，ブロック単位の事例の組合せ数の1/800程度まで減っている．サブブロック単位の事例を用いることにより，16000程度の事例数で100%の事例を検索することができる．また，各サブブロックの組合せ数を比べると，最大で洛西2の8178，最小で洛北1の26と，ブロック単位に対し差が小さくなっている．これにより，各サブブロックの事例検索における負荷が均等に近くなると考えられる．

表2　サブブロックの観光地

サブブロック	観光地
洛中1	下鴨神社 北野天満宮 大報恩寺 御所 茶道総合資料館 承天閣美術館 西陣織会館 楽美術館
洛中2	二条城 神泉苑 六角堂 二条陣屋 古代友禅苑 西本願寺 渉成苑 観智院 東寺
洛東1	銀閣寺 白妙村荘 法然寺 安楽寺 哲学の道 平安神宮 伝統産業会館 永観堂 南禅寺 無隣庵 青蓮院 知恩院
洛東2	高台寺 産寧坂 近藤悠三記念館 清水寺 京都陶磁器会館 六波羅密寺 河合寛次郎記念館 国立博物館 三十三間堂 智積院 養源院
洛北1	大徳寺 大仙院 正伝寺 円通寺 上賀茂神社
洛北2	詩仙堂 曼殊院 三千院 来迎院 勝林院 寂光院
洛西1	金閣寺 竜安寺 仁和寺 妙心寺 法金剛院 映画村 広隆寺 広沢の池 遍照寺
洛西2	嵐山 法輪寺 天竜寺 臨川寺 野宮神社 常寂光寺 落柿舎 二尊院 祇王寺 清涼寺 化野念仏寺 大覚寺 直指庵
洛南1	東福寺 泉桶寺 伏見稲荷大社 石峰寺 城南宮 伏見桃山城
洛南2	観修寺 三宝院 醍醐寺 宝じゅ院 法界寺 万福寺 平等院

表 3　各サブブロックの組合せ数

サブブロック		事例の長さの範囲	全ての組合せ数
洛中	1	2～ 8	427
	2	2～ 9	502
洛東	1	2～12	4083
	2	2～11	2036
洛北	1	2～ 5	26
	2	2～ 6	57
洛西	1	2～ 9	502
	2	2～13	8178
洛南	1	2～ 6	57
	2	2～ 7	120
		計	15988

ブロック，サブブロック単位の事例を，それぞれ図 13,14 に示す．図 13 は洛中ブロック，長さ 4 の事例である．この事例をサブブロック単位で考えた場合，表 1 より，大報恩寺と西陣織会館は洛中 1 に，二条城と東寺は洛中 2 に属す．このためサブブロック単位において，事例は図 14 の形となる．

	大報恩寺	–	西陣織会館	–	二条城	–	東寺
(テーマ)	絵		伝統工芸		庭建絵		建仏
(ブロック)	中		中		中		中
(交通手段)		59		9		地下鉄⇒202	
(移動時間)		23 分		23 分		45 分	

(洛中)

図 13　ブロック単位の事例

	大報恩寺	–	西陣織会館	東寺	–	二条城
(テーマ)	絵		伝統工芸	建仏		庭建絵
(ブロック)	中		中	中		中
(交通手段)		59			202⇒ 地下鉄	
(移動時間)		23 分 (洛中 1)			45 分 (洛中 2)	

図 14　サブブロック単位の事例

4.2　ブロック単位の検索

ブロック単位の類似事例検索の方法は，従来の研究で用いた複数事例による経路生成に基づく．指定された観光地を各ブロックに割り振り，ブロック単位で類似事例検索を行う．これにより，全体で単一の事例を用いる場合に対し，少ない事例でより類似性の高い事例検索が可能になる．

しかし，ブロック単位の類似事例検索では，各ブロックでの経路は求められるが，全体としての経路ではない．このためブロック間の事例接続を行うことで，事例修正部に処理を委ねる必要がある．

事例検索において，指定観光地数が 2 以上のブロックで類似事例が見つからなかった場合，他のブロックで類似事例が検索されていても，検索は失敗となり終了する．

4.3　サブブロック単位の検索

サブブロック単位の事例検索方法は，指定観光地をサブブロック単位に振り分け，各サブブロックにおいて類似事例検索を行う．これにより，ブロック単位よりも更に少ない事例数で，事例検索率の向上を図ることができる．

ブロック単位の事例検索は，ブロック数が 5 であるので最大 5 回で済むが，サブブロック単位では，倍の 10 回類似事例検索をする必要がある．しかし，事例の組合せ数において，サブブロックはブロックの 1/800 であることを考えると，検索回数の差は不利にはならない．

4.4 類似事例の修正法

まずサブブロック単位の事例を用いた場合は，同一ブロック内の 2 つのサブブロック単位の事例を接続し，ブロック単位に変える．サブブロック間の接続は，事例同士の両端を距離が最短になるように行う．

次に各ブロックで，事例にない指定観光地を追加し，指定されていない観光地を削除する．ここで指定観光地の追加は，事例の経路中に挿入した場合の距離が最短になる箇所に行う．

最後に各ブロック単位の事例に対し，大局的貪欲法を用いて，距離が最短になるように接続していく．まず各ブロック単位の事例の両端同士の距離を全て求め，距離が短い順に求めた辺をソートする．次に，距離が短い順に全ブロックが 1 本の経路となるように辺を選んでいく．ここで距離の短い辺を選ぶにあたり，途中で閉路にならないようにする．

この処理によって，指定された全観光地は経路の形となり，修正を行った部分に関して，交通手段作成部で観光データベースを基に交通手段を求めて最終的な解とする．

5　実験

以下の各実験において，指定した事例ベースを事例生成部で作成し，AP1000 上に配置する．このとき，事例数の各ブロック，各長さ毎の振り分けはこれまで述べてきた方法で決定する．観光地の指定は乱数を使い，観光地の重複がないように行う．計測は，指定観光地に対し MBR で類似事例が検索できるものを対象にし，その事例検索率についても評価する．

5.1　実験方法

実験は 1 ブロックにおける経路生成から，2,3 ブロック，全ブロックとブロック数を徐々に増やし，同時に事例数，セル台数もより大規模な形で実験を行う．また，サブブロック単位の事例を使った経路生成を最後に行う．

1. 小規模 1 ブロックの実験

洛北ブロックにおいて，事例数 160,800,1600 で事例検索を行う．ここで，セル台数を 4,8,16 台と変化させて各々実験を行う．乱数による指定観光地数を 4,5,6,7 とし，それぞれの観光地数で 20 組行い，セル台数毎の事例検索時間，事例数毎の事例検索率，類似事例の平均相互含有率について計測を行う．この実験は，この後に続く実験の予備段階である．

2. 小規模 2 ブロックの実験

洛北，洛南の小規模 2 ブロックにおいて，事例数 1600,4800,8000 で，セル台数を 4,8,16 台として各々実験を行う．指定観光地数は 8,12,16,20 とし，それぞれ 20 組行い，実験 1 と同様に計測を行う．

3. 中規模 3 ブロックの実験

洛中，洛北，洛南の 3 ブロックにおいて，事例数 16000,48000,80000 で実験を行う．セル台数は 8,16,32 台とする．指定観光地数は 12,16,20,24,28 とし，それぞれ 20 組行い，事例検索時間，事例検索率，平均相互含有率に加えて，事例数毎の事例修正時間，交通手段作成時間，検索・修正された解の質 (移動時間，直線距離) の計測を行う．また，RBR による実行時間 (経路生成時間，交通手段作成時間)，生成された解の質の計測を行い，MBR との比較を行う．

4. 大規模 2 ブロックの実験

洛西，洛東の大規模 2 ブロックにおいて，事例数 48000,80000,160000 で実験を行う．セル台数は 16,32,64 台とする．指定観光地数は 16,24,32 とし，それぞれ 50 組行い，事例検索時間，事例検索率，平均相互含有率の計測を行う．

5. 全ブロックの実験

全ブロックにおいて，事例数 48000,80000,160000 で実験を行う．セル台数は 16,32,64 台とし，事例数 48000,80000 ではセル台数 8 台においても計測を行う．指定観光地数は 20,40,60,80 とし，最大 500 組まで，8 回事例が検索されるまで行う．この実験では，実験 3 と同様に MBR と RBR の実行時間，事例修正で求められた解の質を計測し，両者の比較を行う．

6. サブブロックの事例による実験

最後に，サブブロック単位の事例を用いた実験を行う．全ブロックにおいて，事例数 1600,3200,4800 で，セル台数を 4,8,16 台にして実験を行う．指定観光地数は 20,40,60,80 とし，最大 500 組まで，8 回事例が検索されるまで行い，実験 5 と同様の項目について計測する．この実験により，ブロック単位，サブブロック単位の事例を用いた場合の実行時間，事例検索率，解の質について比較，評価を行う．

5.2 実験結果

5.2.1 事例検索時間の相対速度

各実験による平均事例検索時間をそれぞれ表 4 ~ 表 9 に示す．各表の相対速度は，同一の事例ベースに対して，最小のセル台数における事例検索時間を 1 とした場合のものである．各実験において，セル 1 台における事例検索時間の計測は行っていない．この理由について述べると，AP1000 の各セルのメモリ 16MB に対して 1 事例あたり約 900byte 要し，計算部を考慮しても，セル 1 台につき事例数は 1 万程度が限界であると考えられる．このため，大規模な事例ベースを扱う実験においては，セル 1 台での計測は不可能となる．

実験 1 で事例数 1600 と実験 2 で事例数 8000 のときのセル 4 台に対する相対速度を図 15 に，実験 3 の各事例数において，セル 8 台に対する相対速度を図 16 に，実験 5 の各事例数において，セル 16 台に対する相対速度を図 17 に示す．また実験 5 においては，対数

グラフによる実行時間を図18に示す．

各図表より，セル台数の増加に対して事例検索時間が短縮されていることが分かる．図15の事例数が少ない場合は，並列効率は余り良くなく，事例数1600において，セル台数4台から16台に対する相対速度は1.51倍程度である．しかし，事例数の増加により事例検索時間も増大していき，それにつれて相対速度も向上している．最大では，図17の事例数160000においてセル台数16台から64台に対し相対速度は3.42倍まで上がっている．また図18より，事例数の増加につれ，検索時間はセル台数の増加に対し，より比例して減少していることが分かる．

表4　平均事例検索時間 (実験1)

事例数	セル台数	事例検索時間 (ms)	相対速度
160	*4*	33.8	1
	8	32.4	1.04
	16	31.7	1.07
800	*4*	44.1	1
	8	38.1	1.16
	16	34.9	1.26
1600	*4*	57.8	1
	8	44.0	1.31
	16	38.2	1.51

表 5　平均事例検索時間 (実験 2)

事例数	セル台数	事例検索時間 (ms)	相対速度
1600	4	83.8	1
	8	68.5	1.22
	16	60.8	1.38
4800	4	144.9	1
	8	98.3	1.47
	16	76.5	1.89
8000	4	208.9	1
	8	130.5	1.60
	16	91.9	2.27

表 6　平均事例検索時間 (実験 3)

事例数	セル台数	事例検索時間 (ms)	相対速度
16000	8	370.7	1
	16	227.8	1.63
	32	152.9	2.42
48000	8	864.9	1
	16	500.6	1.73
	32	299.1	2.89
80000	8	1543.7	1
	16	872.3	1.77
	32	497.0	3.11

表 7　平均事例検索時間 (実験 4)

事例数	セル台数	事例検索時間 (ms)	相対速度
48000	*16*	915.0	1
	32	513.5	1.78
	64	270.0	3.39
80000	*16*	1390.4	1
	32	774.2	1.80
	64	465.9	3.53
160000	*16*	2399.3	1
	32	1224.2	1.96
	64	652.0	3.68

表 8　平均事例検索時間 (実験 5)

事例数	セル台数	事例検索時間 (ms)	相対速度
48000	*8*	1061.7	–
	16	589.2	1
	32	355.2	1.66
	64	236.3	2.49
80000	*8*	1749.5	–
	16	943.2	1
	32	514.5	1.83
	64	305.0	3.09
160000	*16*	1690.8	1
	32	886.5	1.90
	64	495.1	3.42

表 9　平均事例検索時間 (実験 6)

事例数	セル台数	事例検索時間 (ms)	相対速度
1600	*4*	313.6	1
	8	220.2	1.42
	16	208.8	1.50
3200	*4*	369.3	1
	8	312.3	1.18
	16	267.5	1.38
4800	*4*	428.1	1
	8	297.5	1.44
	16	236.9	1.81

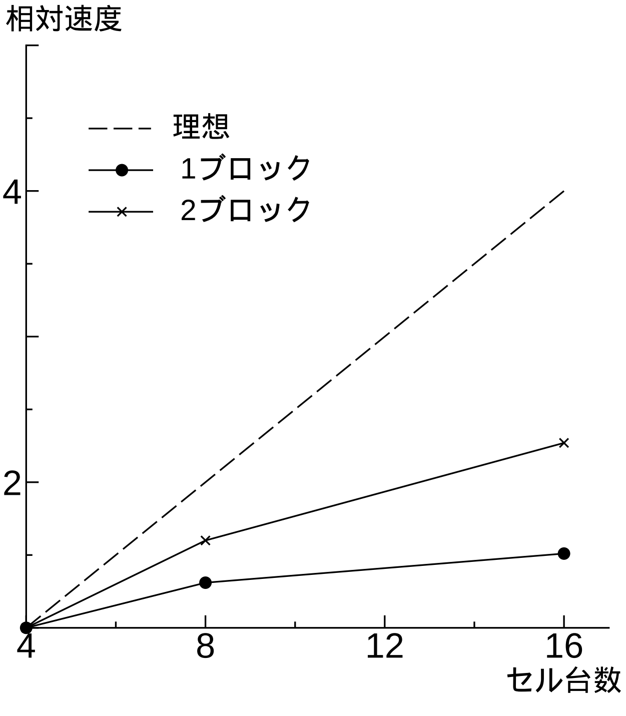


図 15　相対速度 (実験 1,2)

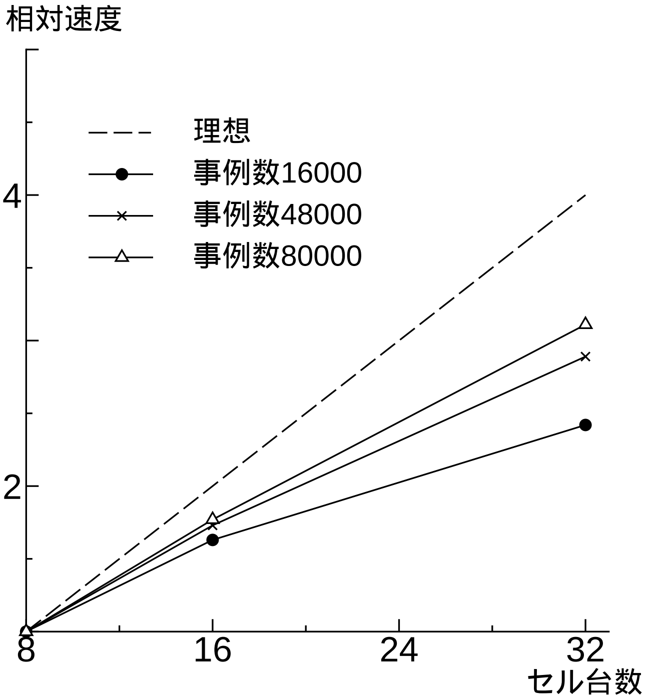


図 16　相対速度 (実験 3)

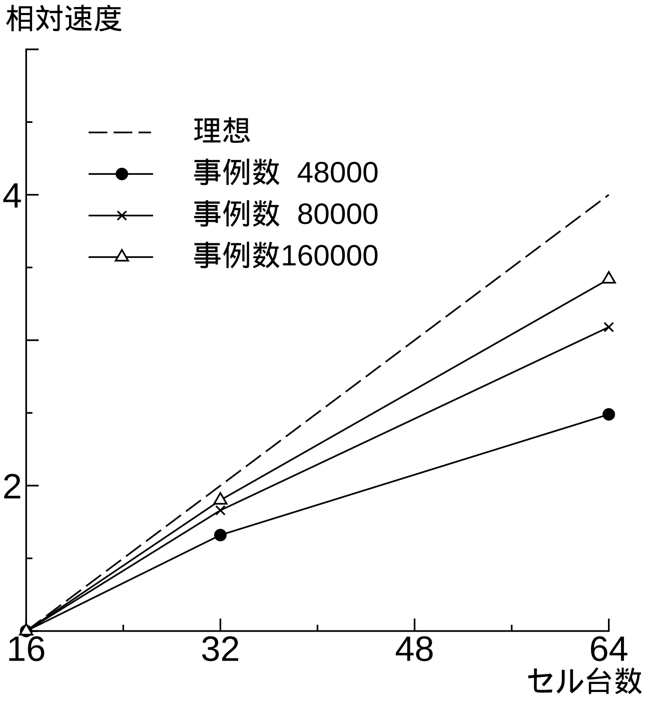


図 17　相対速度 (実験 5)

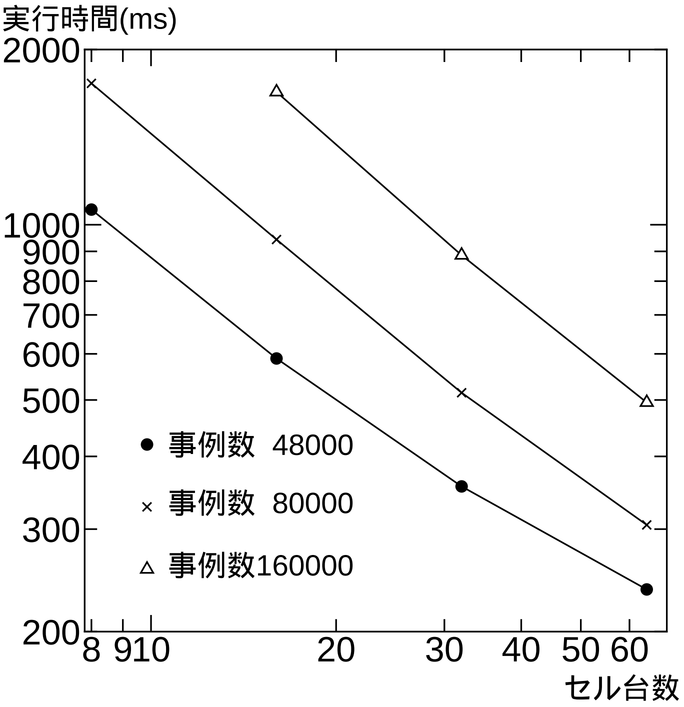


図 18　事例検索時間の対数グラフ (実験 5)

5.2.2　実行時間

実験 3,5,6 で，指定観光地数に対する MBR と RBR の各処理の実行時間をそれぞれ表 10,11,12 に，実験 5 での MBR と RBR の全体の実行時間を図 19 に示す．各図表は，実験 3 では事例数 80000，セル台数 32 台，実験 5 では事例数 160000，セル台数 64 台，実験 6 では事例数 4800，セル台数 16 台のときに計測したものである．

また実験 5,6 において，ブロック単位の事例を用いた場合 (セル 64 台，事例数 160000) とサブブロック単位の事例を用いた場合 (セル 16 台，事例数 4800) の指定観光地数に対する事例検索時間を図 20 に，事例修正時間，交通手段作成時間を図 22 に示す．更に実験 3 で，指定観光地数に対する MBR,RBR 両者の交通手段作成時間を図 21 に示す．図 20,22 での B はブロック単位の事例の使用を，SB はサブブロック単位の事例の使用を表している．

各表より，事例ベースの事例数が多いため，MBR では事例検索時間が最も大きく，最大で全体の 97%を占め，事例修正時間，交通手段作成時間は微小なものになっている．それに対し RBR では指定観光地数の増加に対し，経路生成時間は急激に増え，最大で全体の 99%以上の割合を占めている．

図 19 より，指定観光地数が少ない場合，MBR，RBR 両者の実行時間は変わらない．しかし指定観光地数の増加に対し RBR は $O(n^2)$ のグラフを描き，一方 MBR ではあまり変化せず滑らかなグラフになっている．実行時間では MBR は RBR に対し，平均で 1/20，最大で 1/100 まで短縮している．

図 20 より，ブロック単位，サブブロック単位双方の事例検索時間は指定観光地数 20 ~ 80 に対し，中間点で最も大きい凸型のグラフになっている．しかし事例数，セル台数は異なってはいるが，双方を比較するとサブブロック単位の方が，凸の形が滑らかになっていることが分かる．この理由としては，事例生成における各ブロックの長さ毎に振り分ける事例数が正規分布の形になっていることから，照合する事例の数がこれに比例しているためと考えられる．

図 21 より，交通手段作成時間は RBR では，指定観光地数に比例して増加しているが，MBR ではほぼ一定になっている．また図 22 より，ブロック単位，サブブロック単位双方の事例修正時間，交通手段作成時間は共に，それほど差がないことが分かる．

表 10　MBR と RBR の実行時間 (実験 3)(単位:ms)

観光地数	MBR				RBR		
	事例検索時間	事例修正時間	交通手段作成時間	計	経路生成時間	交通手段作成時間	計
12	314.2	2.8	4.1	321.1	16.9	5.7	22.6
16	308.5	4.5	5.1	318.1	49.7	7.3	57.0
20	598.4	3.5	2.4	604.3	117.5	8.2	125.7
24	639.3	4.3	6.0	649.6	292.3	9.8	302.1
28	624.8	4.2	2.8	631.8	655.7	11.6	667.3

表 11　MBR と RBR の実行時間 (実験 5)(単位:ms)

観光地数	MBR				RBR		
	事例検索時間	事例修正時間	交通手段作成時間	計	経路生成時間	交通手段作成時間	計
20	146.3	10.9	5.3	162.5	112.3	7.6	119.9
40	717.2	12.1	6.7	736.0	1669.3	12.2	1681.5
60	844.0	15.6	6.8	866.4	8112.9	15.5	8128.4
80	272.7	13.7	8.3	294.7	25383.0	19.2	25402.2

表 12　MBR と RBR の実行時間 (実験 6)(単位:ms)

観光地数	MBR				RBR		
	事例検索時間	事例修正時間	交通手段作成時間	計	経路生成時間	交通手段作成時間	計
20	141.3	9.6	5.6	156.5	113.1	7.0	120.1
40	245.2	12.0	7.1	264.3	1699.0	10.5	1709.5
60	290.3	14.3	7.6	312.2	8536.5	15.5	8552.0
80	270.9	15.9	6.4	293.2	25777.6	17.8	25795.4

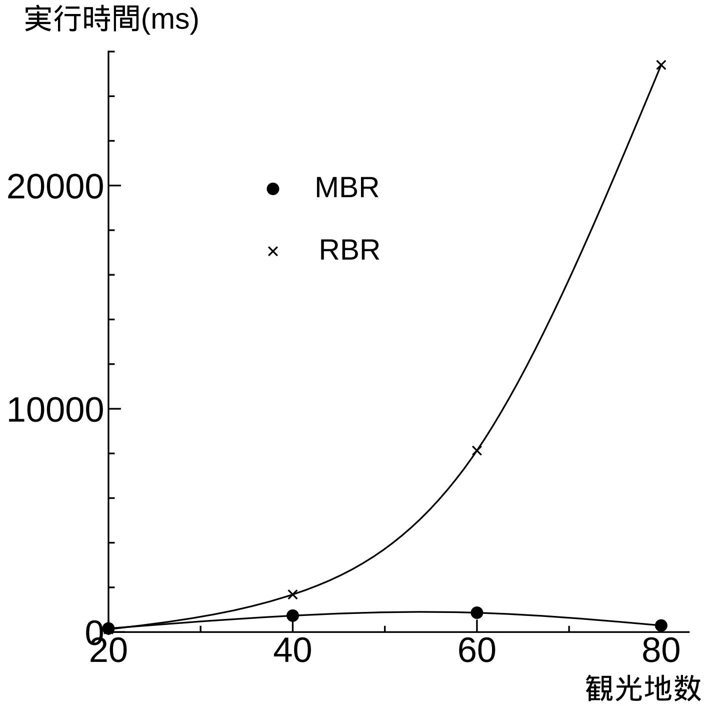


図 19　MBR と RBR の実行時間 (実験 5)

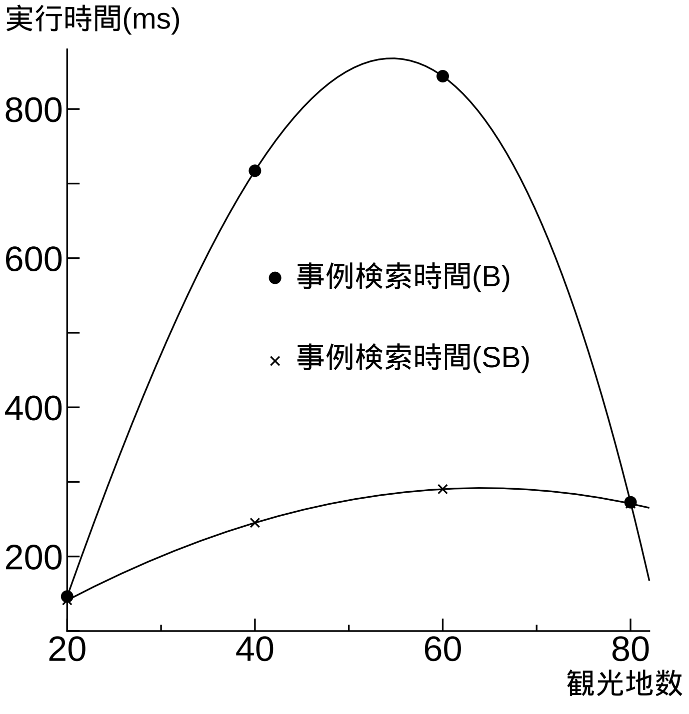


図 20　事例検索時間 (B & SB)

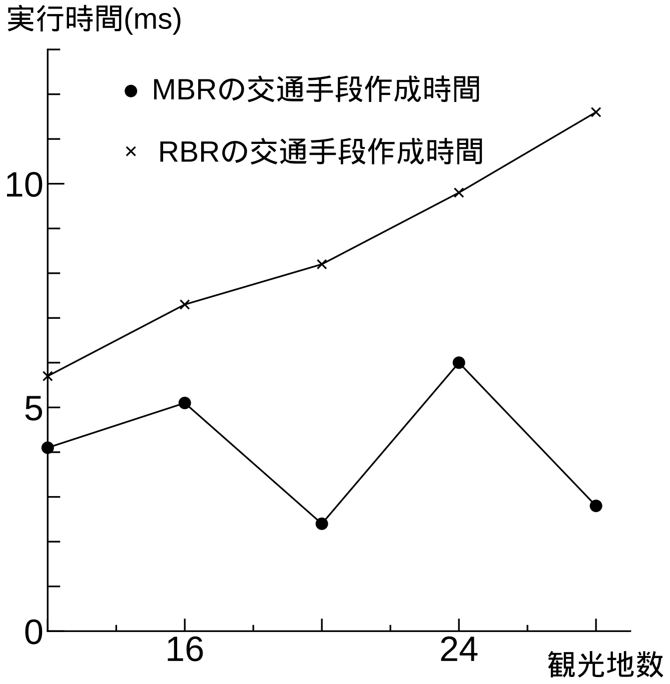


図 21　MBR と RBR の交通手段作成時間 (実験 3)

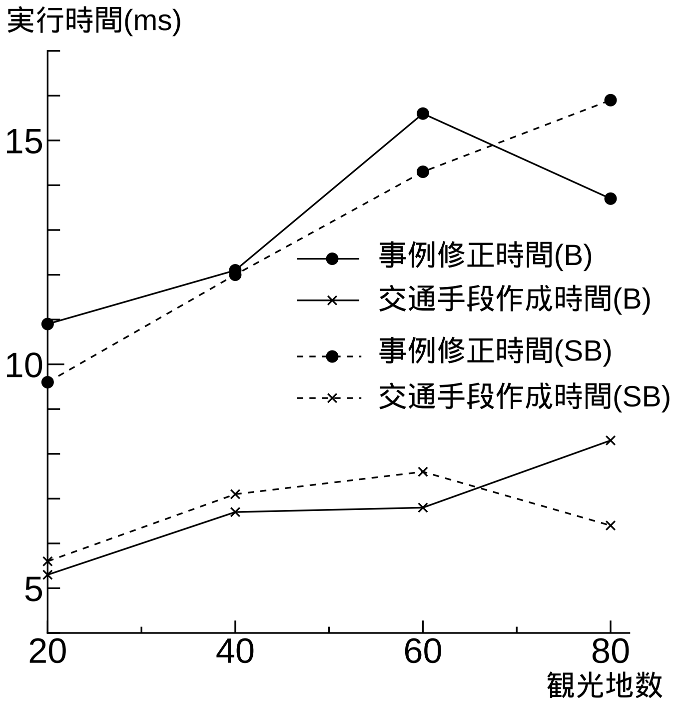


図 22　事例修正時間，交通手段作成時間 (B & SB)

5.2.3 事例検索率と平均含有率

各実験における事例検索率と平均相互含有率を表13に示す．事例検索率は，乱数による観光地指定のテスト回数に対し，各ブロックの類似事例検索が成功した割合を表し，平均相互含有率は，検索された類似事例の相互含有率の平均を表している．

表13より，各実験において，事例数が増加するほど，事例検索率，平均相互含有率共に向上していることが分かる．

ブロック数が1から3の小中規模の実験1～3では，事例検索はほぼ100%に近い割合で成功し，検索された事例も指定観光地に対し，平均で9割以上の類似性を持つ結果となっている．しかし，全ブロックの実験5,6では事例検索率が30%～50%と悪くなっている．

表13　各実験での事例検索率と相互含有率

実験	事例数	事例検索率 (%)	相互含有率 (%)	実験	事例数	事例検索率 (%)	相互含有率 (%)
1	*160*	93.8	86.7	*2*	*1600*	86.3	91.4
	800	100.0	94.3		*4800*	93.8	96.3
	1600	100.0	98.1		*8000*	97.5	98.3
3	*16000*	86.0	91.1	*4*	*48000*	63.2	85.3
	48000	93.0	94.2		*80000*	70.7	86.0
	80000	95.0	96.9		*160000*	83.3	88.6
5	*48000*	36.9	89.7	*6*	*1600*	28.9	92.2
	80000	39.6	89.2		*3200*	45.9	93.2
	160000	42.8	89.6		*4800*	52.4	95.4

5.2.4 解の質 (移動時間，直線距離)

実験3,5,6によるMBRとRBRの解の質を，それぞれ表14 (事例数80000)，表15(事例数160000)，表16(事例数4800) に示す．各表は，テストをして類似事例検索が成功した場合において，MBRとRBRの両推論で求めた経路の移動時間と直線距離の平均と，移動時間においてMBRの方がRBRよりも優れている回数を表している．

また実験3において，移動時間，直線距離に関するRBRに対するMBRの比を図23に示す．実験5,6において，ブロック単位の事例を用いた場合 (事例数160000)，サブブロック単位の事例を用いた場合 (事例数4800) 双方のRBRに対する解の質の比を図24に示す．

各図表よりMBRとRBRの解の質を比較すると，移動時間の観点ではMBRの方がRBRよりも最大で7%良くなっており，直線距離ではRBRの方がMBRより最大20%良くなっている．

図24は，ブロック，サブブロック単位でテストデータが異なってはいるが，サブブロック単位の事例を用いた場合に対し，ブロック単位の事例を用いた場合の方が移動時間の観点で最大で6%程良いことが分かる．これに対し，直線距離ではサブブロック単位の事例を用いた方が2%程良い．

表14　MBRとRBRの解の質 (実験3)

観光地数	平均移動時間 (分)			平均直線距離 (km)			移動時間の比較
	MBR	RBR	$\frac{MBR}{RBR}$	MBR	RBR	$\frac{MBR}{RBR}$	
12	405	439	0.92	35.1	31.0	1.13	15/18
16	505	555	0.91	43.5	37.7	1.16	18/19
20	625	675	0.93	53.5	44.7	1.20	16/18
24	719	770	0.93	60.2	48.8	1.23	19/20
28	799	852	0.94	67.5	52.8	1.28	16/20

表15　MBRとRBRの解の質(実験5)

観光地数	平均移動時間(分)			平均直線距離(km)			移動時間の比較
	MBR	RBR	$\frac{MBR}{RBR}$	MBR	RBR	$\frac{MBR}{RBR}$	
20	622	619	1.01	52.1	49.1	1.06	5/12
40	1068	1060	1.01	84.4	72.1	1.17	36/83
60	1371	1378	0.99	102.9	84.3	1.22	19/30
80	1515	1631	0.93	112.4	91.8	1.22	10/10

表16　MBRとRBRの解の質(実験6)

観光地数	平均移動時間(分)			平均直線距離(km)			移動時間の比較
	MBR	RBR	$\frac{MBR}{RBR}$	MBR	RBR	$\frac{MBR}{RBR}$	
20	619	607	1.02	48.8	45.0	1.09	3/8
40	1135	1086	1.05	83.0	69.3	1.20	1/8
60	1403	1382	1.02	98.2	82.5	1.19	4/8
80	1584	1596	0.99	109.9	90.6	1.15	7/8

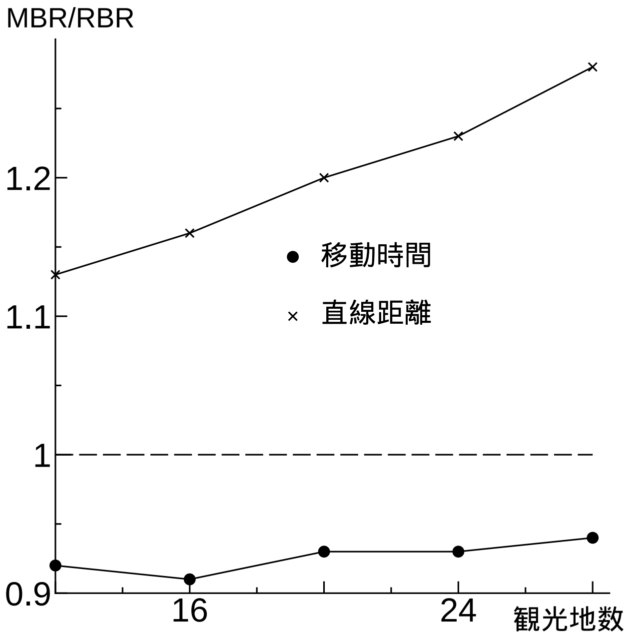


図 23　MBR と RBR の解の質の比較 (実験 3)

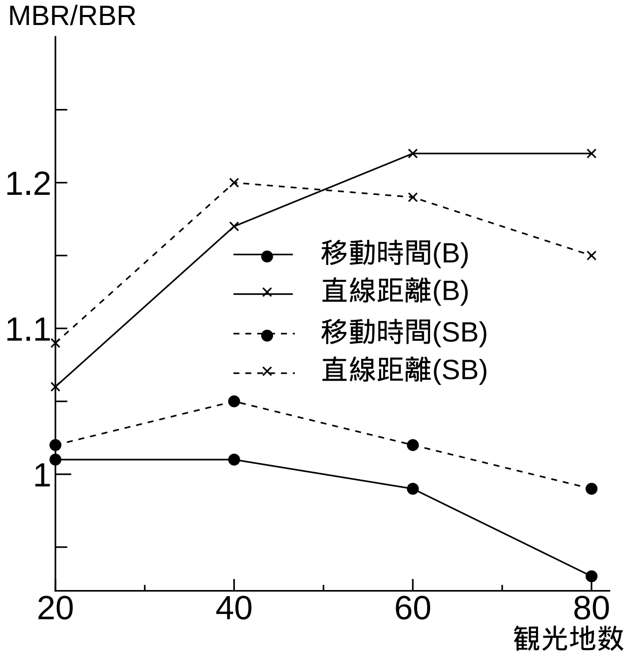


図 24　MBR と RBR の解の質の比較 (B & SB)

5.3　考察

5.3.1　並列事例検索の有効性

大規模な事例ベースを用意し，並列に事例検索を行うことにより，検索時間を短縮することができた．相対速度は最大で，事例数160000において，セル16台に対し，セル64台で3.42倍までになった．また対数グラフの結果から，大規模な事例ベースにおいては，セル台数の増加に対し，実行時間はほぼ比例して減少していることが分かる．

この結果により，AP1000上における並列事例検索の有効性が確認できた．

5.3.2　MBRとRBRの実行時間の比較

指定観光地に対してMBRの実行時間は滑らかでほぼ一定になっているのに対し，RBRでは$O(n^2)$で急激に増加している．事例数160000，セル台数64台の実験で，MBRの実行時間はRBRに対し，平均で1/20，最大で1/100まで短縮している．従来の研究結果では，事例数22でCBRの実行時間は最大，RBRの1/8まで短縮した．CBRに対しMBRでは約8000倍もの規模の事例ベース上で事例検索を行うにも関わらず，並列マシンを用いることにより，更なる速度向上を得たと言える．

各処理の実行時間は，RBRでは経路生成時間，交通手段作成時間共に，指定観光地数に対し急激に増加するのに対し，MBRでは事例修正時間，交通手段作成時間共にほぼ一定になっている．交通手段作成時間で両者を比較すると，RBRでは経路となる全観光地に対して交通手段を求めるのに対し，MBRでは事例を修正した部分のみにおいて交通手段を求める．このため，MBRでは9割以上近似した事例を検索できているので，観光地数が増えても一定した時間で処理を終えることができる．また実験において，ブロック数の増加により全体的な事例修正時間が増加している．これは，ブロック数の増加するにつれ，ブロック間の接続の負担が増えるためであると考えられる．

CBRでは，事例修正時間が指定観光地数の増加に対して$O(n)$となり，最大で全体の80%以上の割合を占めていた．これに対しMBRでは，事例修正の割合は10%以下に抑え，指定観光地数に対して$O(1)$となっている．このことから，MBRで大規模事例ベースを用いることにより，事例修正の負担を大幅に減少することができたと言える．

5.3.3 事例検索率と相互含有率

事例検索率，検索された事例の平均相互含有率共に，事例ベースの事例数が増加することによって，良い結果となった．この結果は，事例数が増えれば，それだけより類似した事例が存在する可能性が増えるということから考えても，当然であると言える．

小中規模ブロック(洛中，洛北，洛南)の実験では，事例検索は9割以上の割合で成功したが，大規模ブロック(洛東，洛西)を加えた全ブロックの実験では，事例検索率は極端に下がり，半分以下となった．特に，指定観光地数の少ない程，事例検索の成功率は低くなっている．

この原因としてはまず，全ブロックの事例の組合せ数1270万に対し，実験では最大で事例数160000と，1/80までしか生成できなかったことが挙げられる．本研究で与えられたディスク容量300MBに対し，160000の事例で約90MB要し，1270万の事例を実現するには，7GB以上必要になる．

類似事例検索は，事例に含まれる指定観光地数，指定観光地に含まれる事例観光地数の割合である含有率が共に75%以上であることを条件としており，例えば指定観光地数3に対しては事例と一致する観光地数が3つとも完全に一致しなければならない．更に事例生成における各長さ毎の事例数は，その組合せ数に比例した数にするため，長さの短い事例はあまり生成されない．このような理由により，指定観光地数が少ない場合には，特に事例検索の成功率が低くなっていると考えられる．

しかし，CBRでの事例検索率は最低で1%以下であるのに対し，類似基準をより厳しくしているにも関わらず，MBRでは事例数160000で40%以上になっている．従って，MBRは事例検索率の向上の点で，CBRの問題点を緩和していると言える．

5.3.4 MBRとRBRの解の質の比較

実験より，解経路の移動時間ではMBRの方がRBRよりも最大で7%良く，直線距離ではRBRの方が最大20%良い結果となった．この理由としては，事例は移動時間が最短になるように生成されており，RBRは直線距離が最短になるように経路生成を行うことが挙げられる．

CBRではRBRに対し移動時間の観点で最大4%程良かったのに対し，MBRでは7%まで向上している．MBRで用いた事例は全て，ルール的に自動生成したものであり，移動時間における最適解とは限らず準最適解である．このことを考慮しても，MBRによって解の質を向上することができたと言える．

5.3.5 ブロックとサブブロック単位の比較

ブロック単位とサブブロック単位の事例を用いた場合を比較してまず，事例検索時間は，双方とも指定観光地数に対し，中間で最大となり，凸型のグラフを描いている．しかし，ブロック単位では最小時間と最大時間とで7倍の差があるのに対し，サブブロック単位では凸の形は滑らかであり，最小と最大で2倍程度の差である．これは，サブブロック単位では全体の組合せ数をブロックの1/800まで短縮することにより，正規分布に比例した長さ毎の事例数の差が小さくなっているためである．

解の質では，ブロックの事例を用いた場合に対しサブブロックの事例では，移動時間の観点で6%程悪くなっている．サブブロック単位の事例を用いた場合，事例修正の処理としてサブブロック間の接続が加わり，これにより解の移動時間を低下させていると考えられる．

しかし，事例修正時間，交通手段作成時間において，ブロック単位の事例を用いた場合に対し，サブブロック単位の事例との差はなく，ほぼ同じとなった．従って，サブブロック単位の事例を用いることにより，実行時間の大幅削減を図ることができ，極めて有効であることが証明された．

5.3.6 スケジューリング問題における MBR の有効性

観光経路決定支援問題にMBRを適用し，従来の解決法であるRBRとの比較を行った．実験結果から，MBRの実行時間はRBRに対し，最大で1/100まで短縮することができた．また解の正当性において，MBRは移動時間の観点で，RBRで求められる経路に対し，最大で7%優れていた．

実行時間の点において，RBRでは観光地数が増えるにつれ，数え上げる組合せ数が多くなり，計算がより複雑になる．一方，MBRでは大規模事例ベースから酷似した経路を検索することにより，観光地数の増加に影響されない．また，並列マシンを使用することにより，大規模事例ベースにおける探索負荷を軽減している．以上のことから，MBRの観光経路決定支援問題への適用は極めて有効であると考えられる．

また最初にも述べたように，観光経路決定支援問題は巡回セールスマン問題と同じく，複数の観光地(都市)を順番に巡るに際し，最短になる経路を計画，設計するものである．これらはスケジューリング問題の一種と言え，本研究の成果により，このような計画，設計問題に対するMBRの有効性が証明できた．

6　おわりに

本論文では，観光経路決定支援問題にメモリベース推論を適用し，大規模事例ベース生成，高並列マシン AP1000 による事例の並列検索，及びブロック，サブブロック単位の事例の利用法について述べ，実験による評価を行った．

結果としてまず，事例数 160000 においてセル 16 台から 64 台で最大 3.42 倍の相対速度を得ることができ，事例数の増加に対して，実行時間はより線形に，比例して減少することが分かった．これにより，大規模事例ベースにおいて並列マシンによる検索処理はかなり有効であることが確認できた．また，事例数の増加に対し，事例検索率も上がり，極めて類似した事例が検索できることが分かった．MBR と RBR を実行時間で比較した場合，指定観光地数 n に対し，RBR では $O(n^2)$ となる一方，MBR ではほぼ一定であった．MBR の実行時間は事例数 160000，セル台数 64 台で最大，RBR の 1/100 まで短縮できた．MBR の各処理では，事例修正時間，交通手段作成時間はほぼ一定でなり，事例修正時間の全体に占める割合は 10%以下まで減少した．その結果，大規模事例ベースを用いることにより，事例修正の処理負担を軽減することができた．また解の質において，移動時間の観点で MBR の方が RBR よりも最大で 7%良く，この結果により，MBR によって求めた解の正当性が確認できた．サブブロック単位の事例ベースを用いた場合，事例数を少なく抑えることにより，実行時間の大幅削減を果たした．サブブロック単位の事例ベースの使用は，事例数の大幅減少により，実行時間を短縮する効果があることが分かった．以上のことから，観光経路決定支援問題におけるメモリベース推論の有効性が立証できた．

最後に本研究における今後の課題を挙げる．

- 更に大規模な事例ベースによる実験
- RBR を並列処理で行ったものと MBR との比較
- MBR の他の大規模なスケジューリング問題への応用

謝辞

本研究の機会を与えて下さり，日頃貴重なご指導を頂きました山崎勝弘教授，昨年度まで共に研究を行ってきた森田真弘氏に感謝の意を表します．

また本研究に際し，日頃より貴重なご意見を頂きました福井勝史氏，柿田貴史氏をはじめとする本研究室の皆様に深く感謝いたします．

参考文献

[1] 戸沢義男 :特集 「事例ベース推論」にあたって, 人工知能学会誌,Vol.7,No.4, pp.558(1992).

[2] 奥田健三, 山崎勝弘 :事例ベース推論とその応用例, 情報処理,Vol.31,No.2, pp.244-254(1990).

[3] 小林重信 :経験に基づく推論と学習, 電子情報通信学会誌,Vol.93,No.494, pp.25-32(1994).

[4] 北野宏明 :超並列人工知能, 人工知能学会誌,Vol.7,No.2,pp.244-262(1992).

[5] Stanfill,C. and Waltz,D. :Toward Memory-Based Reasoning, Vol.29,No.12,Communications of the ACM,pp.1213-1228(1986).

[6] 松原 仁 :推論技術の観点から見た事例に基づく推論, 人工知能学会誌,Vol.7,No.4, pp.567-575(1992).

[7] 富士通株式会社 :AP1000 プログラム開発手引書 (1992).

[8] 石畑宏明, 稲野聡, 堀江健志, 清水俊幸, 池坂守夫 :高並列計算機 AP1000 のアーキテクチャ, 電子情報通信学会論文誌 D-I,Vol.J 75-D-I,No.8,pp.637-645(1992).

[9] 小林康弘 :事例ベース推論, 人工知能学会誌,Vol.8,No.1,pp.26-36(1993).

[10] 奥田健三, 山崎勝弘 :電力系統事故時復旧支援における事例ベースの構築法と洗練化, 情報処理学会研究報告,91-AI-75-4,pp.49-58(1991).

[11] 奥田健三, 山崎勝弘 :電力事故時復旧支援, 人工知能学会誌,Vol.7,No.4, pp.582-586(1992).

[12] 小林重信 :事例ベース推論の研究課題, 情報処理学会研究報告,91-AI-75-12, pp.29-38(1991).

[13] 小林重信 事例ベース推論の現状と展望, 人工知能学会誌,Vol.7,No.4,pp.559-566(1992).

[14] 山崎勝弘, 奥田健三 :事例ベース推論による観光経路決定支援システム, 情報処理学会研究報告,91-AI-75-12,pp.107-115(1991).

[15] 山崎勝弘, 奥田健三 :事例ベース推論による観光経路決定支援, 情報処理学会第 44 回全国大会,6Q-1(1992).

[16] 森田真弘, 山崎勝弘, 奥田健三 :事例ベース推論による観光経路決定支援 (2), 情報処理学会第 45 回全国大会,6H-4(1992).

[17] 西村高志 :事例ベース推論による観光経路決定支援システムの改善と評価, 立命館大学理工学部情報工学科卒業論文 (1993).

[18] 森田真弘 :事例ベース推論による観光経路決定支援, 立命館大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士論文 (1994).

[19] 西村高志, 森田真弘, 山崎勝弘, 奥田健三 :事例ベース推論による観光経路決定支援 (3), 情報処理学会第 48 回全国大会,7N-1(1994).

[20] 柿田貴史, 福井勝史 :観光経路決定支援システムのための大規模事例ベースの作成, 立命館大学理工学部情報工学科卒業論文 (1995).

[21] 石畑 清 :アルゴリズムとデータ構造, 岩波書店 (1989).

[22] 寺野隆雄, 鍋田茂子 :事例ベース推論システムの効率に関する分析と評価, 人工知能学会誌,Vol.8,No.4,pp.456-464(1993).

[23] 河野 毅, 末田直道, 田中利一 :CBR システムの構築環境, 人工知能学会誌,Vol.9,No.1, pp.91-99(1994).

[24] Kettler,B.P. , Hendler,J.A , Andersen,W.A. ,and Evett,M.P. : Massively Parallel Support for Case-Based Planning,IEEE,pp.8-14(1994).

[25] Pearce,M. , Goel,A.K. , Kolodner,J.L. , Zimiring,C. , Sentasa,L. , and Billington,R. : Case-Based Design Support,IEEE,pp14-20(1992)

[26] Koton,P. :Reasoning about Evidence in Causal Explanation,AAAI-88, pp.256-261(1988).