

天気変化を考慮した 観光スケジュール群の探索アルゴリズム

武 兵^{†1} 村 田 佳 洋^{†2} 柴 田 直 樹^{†3}
安 本 慶 一^{†1} 伊 藤 実^{†1}

本論文では、天気は確率的にしか予測できない場合を想定し、任意の天気変化パターンに対応したスケジュール群を算出する問題を取り扱う。スケジュール群は、出発地点を根として目的地ごとに分岐する木（スケジュール木と呼ぶ）で表現される。本問題の目的は、スケジュール木によって示された確率的なスケジュールの、ユーザ満足度の期待値の総和を最大化することである。本論文では、この問題を解くための欲張り法および局所探索法に基づいた近似アルゴリズムを提案する。このアルゴリズムは、まず欲張り法により初期のスケジュール木を作成し、部分木を単位とした目的地の置換を繰り返し行うことにより、期待ユーザ満足度が高いスケジュール木を生成する。提案手法により得られたスケジュール群を評価するため、シミュレーションにより従来手法との比較実験を行った。その結果、もっとも確率の高い天候ともっとも確率の低い天候を考慮して立てられたスケジュールに対し、4%から58%上回る期待値を持つスケジュールを得ることができた。

Algorithm for Composing Satisfactory Tour Schedules for Fickle Weather

BING WU,^{†1} YOSHIHIRO MURATA,^{†2} NAOKI SHIBATA,^{†3}
KEIICHI YASUMOTO^{†1} and MINORU ITO^{†1}

In this paper, we consider the problem to compose schedules for probabilistically changing weather when the probability of future weather is given. In our algorithm, we represent the schedules as a *scheduling tree* consisting of ordered sequences of visiting spots. The objective of our problem is to find the schedule tree maximizing the expected value of total user satisfaction degree. To solve this problem, we propose an approximation algorithm based on the greedy search and the neighborhood search techniques. To evaluate the proposed method, we compare our method with an exiting method. As a result, the proposed method composed the schedule whose expected satisfaction was improved by 4% to 58%, for weather change patterns with highest and lowest probability.

1. はじめに

近年、ユーザに対し目的地への経路案内や周辺情報の提供を行う様々なパーソナルナビゲーションシステムが提案されている。パーソナルナビゲーションシステムの主な用途は観光への利用である。観光では、通常、いくつかの目的地を巡回する。複数の目的地を巡回するような経路を求める問題として巡回セールスマン問題がある。この問題を効率良く解く近似アルゴリズムとして、Lin-Kernighan 法を利用した手法¹⁾ や大規模局所探索を利用した手法²⁾ がある。一方、観光等を対象とした巡回経路算出問題としてはテーマパーク問題がある。この問題は、テーマパークに多数の来場者がいる状況において、人々を空いているアトラクションに誘導して全体の混雑度を下げ、客の満足度を上げることを目的とする。これらの既存の手法が持つ経路案内機能は、特定のアトラクションの混雑などコンテキストの変化に応じて臨機応変な案内を可能にする。

我々の研究グループでは、観光のためのパーソナルナビゲーションシステム P-Tour³⁾ を提案している。P-Tour は、ユーザの希望に応じた複数目的地の巡回スケジュールを立案し、また各目的地における案内機能を提供する。しかし、このシステムは、天気に応じて目的地の満足度が変化する問題を取り扱っていない。観光における旅行者の満足度は、天気に大きく左右されるため、晴天時と雨天時とでは適したスケジュールは異なることが多い。単純な対応としては、雨天時におけるユーザの満足度を目的地ごとのデータとして与える方法が考えられる。これにより、雨天時のスケジュールの立案が可能となる。しかし、天気が観光ツアーの間に移り変わる可能性がある場合には、天気の変化パターンおよびそのタイミングによって、適したスケジュールも変化する。天気の変化パターンおよび変化タイミングの組み合わせは多数存在するため、全ての場合に対応するスケジュールの数は膨大になる。従来手法では、このような場合のスケジュール群の立案は困難であった。

本論文では、天気は確率的に予測できる場合を想定し、任意の天気予報データに対応したスケジュール群を立案する問題を定式化する⁴⁾。このスケジュール群は、出発地点を根とし

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 広島市立大学 情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

^{†3} 滋賀大学 経済学部情報管理学科
Department of Information Processing and Management, Shiga University

天気に応じて分岐する目的地の列からなる木（スケジュール木と呼ぶ）で表現される。ユーザがある目的地を巡回した直後、そのときの天気に基づいて分岐先（つまり次に巡回する目的地）が決定される。各時点における天気は確率的に事前に与えられるとする。そのため、スケジュール木における分岐確率を計算することができる。得られたスケジュール木における根から葉に至る各パスは天気の変化の一つのパターンとそのパターンに適した複数目的地の訪問順序リストに対応しており、天気パターンの生起確率および目的地をその天気時に訪問した際の満足度を持っている。この問題の目的は、スケジュール木における満足度の期待値の総和を最大化することである。本論文では、この問題を解くために、欲張り法と局所探索法に基づいた近似アルゴリズムを新たに提案する。局所探索法（*n*-swap 法と呼ぶ）は、スケジュール木の部分木内において目的地を交換するもので、同じ目的地を複数巡回するシーケンス（一つのスケジュール）を生成することなく、スケジュール群の局所探索を行うことができる。

2. 問題定義

本章では、天気の変化に対応可能な観光スケジュール木算出問題の定式化について述べる。問題の概要を例を用いて説明した後、問題の入出力の定義を与え、最後に本問題のNP困難性について説明する。

2.1 問題概要

表 1 天気予報の例

Table 1 Example of weather forecast information

	晴	曇	雨
09:00-10:00	80%	10%	10%
10:00-11:00	80%	10%	10%
11:00-12:00	10%	30%	60%
12:00-13:00	10%	20%	70%

ある観光スポットを訪れたときの満足度は、天気によって異なる。提案手法では、各観光スポットを訪れたときの天気毎の満足度と、観光中の天気の移り変わりの確率が与えられている場合に、満足度の期待値を最大化する木状のスケジュール群を算出する。

旅行者は、旅行前にあらかじめ天気予報 web サイト⁵⁾などを通じて観光エリアの天気予報を入手する。天気予報は、表 1 のように、時間帯毎の各天気の確率で与えられると仮定する。また、各観光スポットの地図上の位置が与えられるとする。ここで、観光スポット毎

1日中晴の場合			1日中雨の場合			晴 → 雨の場合		
時間	天気	目的地	時間	天気	目的地	時間	天気	目的地
09:00	晴	出発	09:00	雨	出発	09:00	晴	出発
09:18		奈良公園	09:20		法隆寺	09:18		奈良公園
10:18		平城京跡	10:20		興福寺	10:18		法隆寺
10:20						10:23		
11:20		11:40	11:43					
11:28	帰着	11:55	帰着	11:43	帰着			

図 1 天気ごとのスケジュールの例

Fig. 1 Example of schedules on each weather

に、晴天時と雨天時の満足度が異なるとする。例えば、奈良公園と平城京跡は晴天時に訪問した時に満足度が高く、法隆寺と興福寺は、雨天時に訪問した時に満足度が高いとする。この場合、観光中ずっと晴れているならば、奈良公園と平城京跡を巡回するスケジュールが望ましい(図 1 左)。それに対して、ずっと雨が降っているならば、法隆寺と興福寺を巡回するスケジュールが望ましい(図 1 中)。もし、最初晴れており、途中から雨になるのであれば、観光中に観光スポットを切り替えることが望ましい(図 1 右)。特定の天気変化パターンに適したスケジュールは、既存アルゴリズムを用いて立案することが可能である。しかし、特定の時間の天気の予測が難しいことが事前に分かっている場合、その時間において天気に応じた観光スポットを選ぶことができるようなスケジュール群を立案することが望ましい。例えば、11:00 からの天気が「晴 50% 雨 50%」であることがあらかじめ分かっているならば、その直前の 10:00 ごろに、晴天時・雨天時に満足度の高い目的地の両方に近い目的地を巡回していれば、その後の天気に応じた臨機応変な選択が可能となる。このようなスケジュール群は、従来手法で求めることはできない。本論文では、問題を簡略化するために以下の 2 つの仮定を置く。1. すべての観光スポットは近接しており、天気予報は、すべての観光スポットで同一とする。2. スケジュール作成に関して、ある目的地を観光し終わった直後の時点の天気予報データに基づき次の目的地を決定する。つまり、移動中あるいは観光スポットを訪問中に天気の変化を考慮しない。すると、スケジュールは図 2 に示すような木構造で表すことが出来る。天気予報は時間ごと与えられているため、それぞれの目的地の前の出発時刻によって、巡回確率を計算することができ、また、それぞれの目的地は天気ごとの満足度が与えられている。この図では、奈良ホテルを 9:00 に出発し、晴天であれば 10:00 に奈良公園を巡回することを示している。またその下に書かれた“(80点, 20%)”は、奈良公園の晴天時における満足度が 80 点で、このときの巡回確率が 20%であることを示している。そして重要度に巡回確率をかけることにより、スケジュール中における重要度の期待値が計算

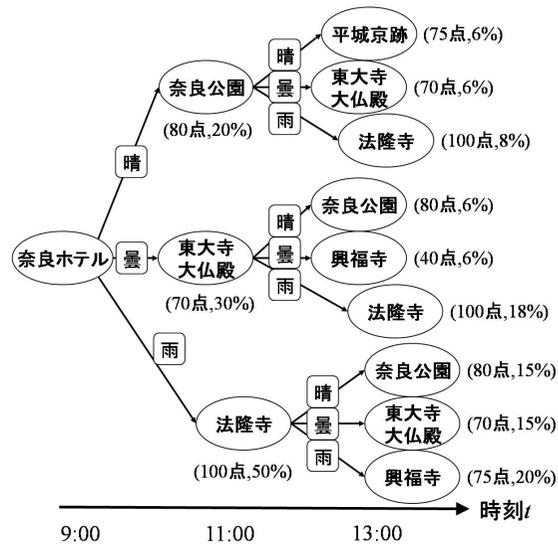


図2 スケジュール木の例
 Fig.2 Example of schedule tree

できる．本問題の目的は，スケジュール木全体の期待値の総和を最大化することである．

2.2 入力

入力は，予め与えられたデータベース入力と，ユーザが探索時に与えるユーザ入力から成る．

<データベース入力> データベース入力として，道路地図および目的地のデータ，天気予報データが与えられる．

<ユーザ入力> ユーザ入力として，滞在日数や出発・帰着時間，観光スポットの重要度，観光スポットにおける時間制約を与える．重要度は，ユーザがその観光スポットを訪れたい希望の度合いを示す値である．基本的に，巡回する観光スポットの重要度の合計が大きい経路が望ましい経路となる．また，この値は天気によって変わるため，すべての天気に対してそれぞれ与えられる．本システム運用時には，各目的地に対しデフォルトの重要度を設定することで，ユーザには特に訪れたい/訪れたくない目的地や観光中の装備により天気の影響を大きく受ける目的地の値のみを入力させることもできる．

2.3 出力

提案手法では，出発地点を根とし，巡回する観光スポットを節点，帰着地点を葉とする

ようなスケジュール木（例：図2）を出力とする．根および節点は，それぞれ3個の子節点（あるいは葉）を持つ．つまりこの木は3分木である．これは，ユーザがある観光スポットを巡回した後，そのときの天気によってスケジュールが3個に分岐することを示している．それぞれの節点は巡回する目的地のほかに，その地点での滞在時間を要素として持つ．

2.4 目的

スケジュールの良さを示す満足度を，従来手法³⁾と同様に，巡回スケジュールに含まれる（時間制約を満たした）目的地の満足度の総和から，距離および帰着時間遅延によるペナルティを課したものと定義する．本問題では，どのスケジュールに分岐するかは天気に左右されるため，訪問した目的地の満足度の総和の期待値を最大化するようなスケジュール木（図2）を求めることをこの問題の目的とする．

2.5 NP困難性

天気の変化に対応可能な観光スケジュール群算出問題は，観光時間の間ずっと天気が同一である場合，天気を考慮しない場合の観光スケジュール立案問題³⁾に帰着できる（例えば一日中晴れの場合）．天気を考慮しない場合の観光スケジュール立案問題は，出発地点と帰着地点を同一にして，各スポットの時間制約を削除し，最適解において必ずすべてのスポットを巡回するような重要度を与えることにより，NP困難であることが知られている巡回セールスマン問題に帰着できる．以上により，天気の変化に対応可能な観光スケジュール群算出問題はNP困難である．従って，実用的な時間で最適解を求めることは困難である．そのため以下では，欲張り法と局所探索法を用いた近似アルゴリズムを提案する．

3. 近似アルゴリズム

天気の変化に対応可能な観光スケジュール群算出問題はNP困難であるため，実用的な時間で最適解を求めることは困難である．そのため本研究では，提案する近似アルゴリズムは(1)欲張り法，(2)帰着スケジュール生成，(3)局所探索法の3つの部分からなる．

- (1) 入力に欲張り法を適用し，初期のスケジュール木を生成する部分．ここでは帰着時刻を考慮せず，完全木を生成する．
 - (2) 帰着時刻を考慮しないスケジュール木から，帰着時刻までに帰着地点に帰るスケジュール木を生成する出力部分．
 - (3) 基となるスケジュール木に局所探索を適用し，改善する部分．
- 本章では，これらの部分について詳しく述べる．

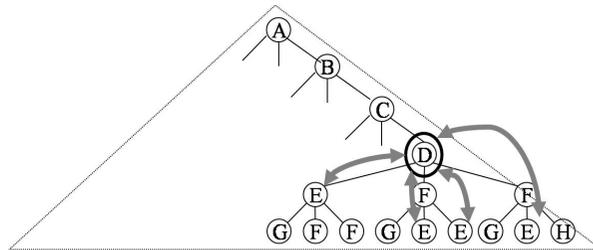


図3 n -swap 法の例
 Fig. 3 Example of n -swap search method

3.1 欲張り法部分

このアルゴリズムは、天候予測分岐ごとに場当たりに最も満足度が高いと予測される目的地を順番に選択、割当てする欲張り法である。

提案する近似アルゴリズムでは、スケジュールにおける木構造をヒープ構造で表す。これは、出発地点からそれぞれの天候に応じた観光地を場当たりに選んでいくもので、天候に応じた観光地を多く含むスケジュール群を得ることができる。

3.2 帰着スケジュール生成

3.1 節で述べたアルゴリズムは、帰着地点に帰ってくるスケジュールを生成しない。そこで、本節で述べるアルゴリズムを用いて、これを帰着時刻までに帰着地点に帰ってくるようなスケジュールに変換する。以下に、修正アルゴリズムを示す。

- (1) 探索中節点集合 S を空にする。スケジュール木の葉節点すべてを探索中節点集合 S に加える。
- (2) 探索中の節点集合 S が空であれば、アルゴリズムを終了する。そうでなければ、ここから任意の節点を一つ取り出す。この節点を注目節点とする。
- (3) 注目節点に割り当てられた目的地から、直接帰着地点に帰った場合、帰着時刻までに帰ることができるかどうかを計算する。これは、目的地と帰着地点の間の距離、およびその節点の出発時刻から計算できる。帰ることができるなら、ステップ(2)に戻る。
- (4) 注目節点に、目的地として帰着地点を割り当て直す。その親節点の出発時刻および割り当てられた目的地から、到着時刻を計算する。親節点を探索中節点集合 S に加え、ステップ(2)に戻る。

3.3 局所探索法部分

提案手法では、欲張り法により得られたスケジュール群に対して局所探索法を繰り返し適用することによって解を改善する。この手法では、まずスケジュール木内のランダムに選ばれた二つの節点に割り当てられた目的地を交換する。スケジュール木の各パスは同じ目的地を複数回巡回するパターンを含んでいてはならないため、この交換は部分木を対象として行う。図3の例では、黒丸で囲んだ節点(目的地が D)を選択する。全ての目的地の集合から目的地 D およびその節点の先祖の目的地 (A, B, C) 以外の目的地 E (つまり、スケジュール上で重複しない目的地) をランダムに選択する。目的地が D の節点を根とする部分木内において、目的地が E の全ての節点の目的地を根の目的地 (D) と交換する。この交換を複数回行った後のスケジュール群の期待値を計算し、改善されていればそれを採用、悪化していれば破棄する。この繰り返しの数を交換回数 n とし、この局所探索法を n -swap 法と呼ぶ。このスケジュール群は同じ目的地を複数回巡回するスケジュールを含んでいてはならない。得られたスケジュール木に3.2節のアルゴリズムを適用し、修正された木の期待値を計算する。期待値が悪化していた場合、元に戻す。この過程を規定回数繰り返し、アルゴリズムは終了する。

4. 評価実験

本章では、提案手法によりスケジュール群を立案することの有効性を調べるため、スケジュールを一つだけ立案するような従来手法との比較実験を行った。従来手法として P-Tour³⁾ を用いた。これは気象変化に対応するスケジュールを立案するために開発されたものではない。しかし、スケジュールの満足度を計算する際に、各時刻における天気に応じた重要度を用いることにより、時刻ごとの天気が明確である場合(つまり、100%予測できる場合)のスケジュールを立案することができる。

4.1 実験設定

実験環境として、CPU Celeron 2.00GHz、メモリ 2.00GB、OS WindowsXP Professional の PC を用いた。プログラミング言語として Java のバージョン 2.3.2 を用いた。

実験には、ランダムに生成された10個のインスタンスを用いた。これらインスタンスは、13500m × 9000m のフィールドの中にランダムに配置された20個の観光スポットを含んでいる。各観光スポットの重要度は天気ごとに50-100の間の値の一樣乱数で与えた。また滞在時間は、1, 1.5, 2, 2.5, 3時間のいずれかの値をランダムに与えた。各観光スポットの重要度は、表2に示す重要度係数を掛けることにより、天気に応じた重要度としている。例え

表 2 目的地属性による重要度係数
Table 2 Satisfaction factor for attribute of destination

天気	屋外型	室内型	その他
晴	1.0	0.4	0.8
曇	0.6	0.5	0.8
雨	0.2	1.0	0.8

表 3 天気予報データのリスト
Table 3 List of weather forecast information

天気変化	8 時間観光	晴れ	曇り	雨
晴れ - 晴れ	09:00-13:00	80%	10%	10%
	13:00-18:00	80%	10%	10%
雨 - 雨	09:00-13:00	15%	15%	70%
	13:00-18:00	15%	15%	70%
晴れ - 雨	09:00-13:00	80%	10%	10%
	13:00-18:00	10%	10%	80%
雨 - 晴れ	09:00-13:00	15%	15%	70%
	13:00-18:00	70%	15%	15%
安定しない	09:00-13:00	33%	33%	33%
	13:00-18:00	33%	33%	33%

ば、博物館（基本重要度 50、室内型）において曇（室内では係数 0.5）であれば重要度は $50 \times 0.5 = 25$ 点となる。自動車での移動を想定し、すべての実験において、目的地間の移動速度を 40km/h とした。満足度の係数として、 $\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 0.5$ とした。つまり、移動距離 1km ごとに満足度は 1 点減点され、1 分遅延するごとに 0.5 点減点される。

4.2 比較方法

従来手法で得られたスケジュールは木構造を持っていないため、そのままでは提案手法により得られたスケジュール群と比較することができない。そこで、一つの天気予報データに対して従来手法を用いて 2 通りのスケジュール「確率最大天気スケジュール（以下、最大天気）」と「確率最小天気パターンスケジュール（以下、最小天気）」を立案し、それぞれを 2 つの項目「満足度」と「期待値」で提案手法のスケジュール群と比較した。

● 従来手法により求めるスケジュール

- 最大天気：それぞれの時刻において、最大の確率を持つ天気を考える。従来手法によりスケジュール立案をする際、それぞれの時刻に応じたその天気に対応した重要度を用いる。その結果、「もっとも有りそうな天気」に対して適したスケジュールを立案することができる。このスケジュールと比較することにより、良くある場合における提案手法の有効性を評価することができる。
- 最小天気：それぞれの時刻において、最小の確率を持つ天気を考える。従来手法によりスケジュール立案をする際、それぞれの時刻に応じたその天気に対応した重要度を用いる。同一確率であった場合、晴、雨、曇の順番で選ぶ。その結果、「もっとも無さそうな天気」に対して適したスケジュールを立案することができる。このスケジュールと比較することにより、運悪くそのような天気に当たってしまった場

合における提案手法の有効性を評価することができる。

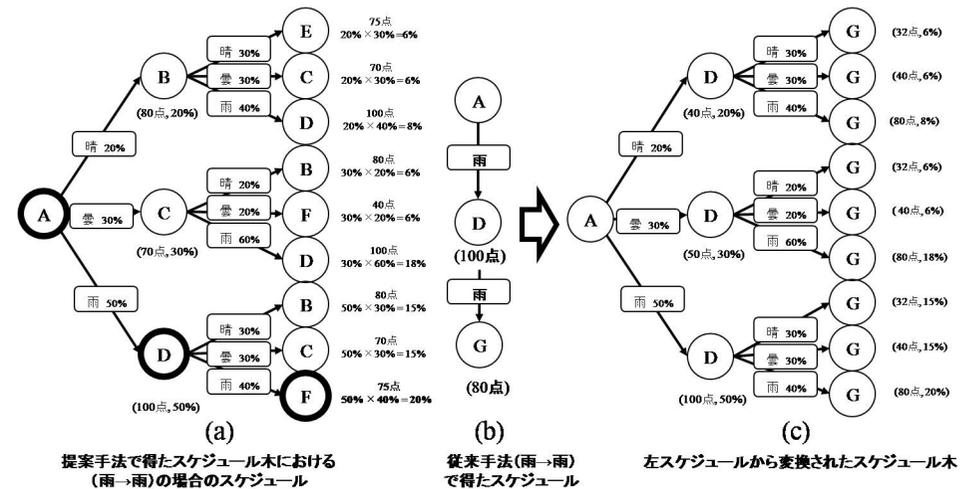


図 4 スケジュールからスケジュール木への変換
Fig. 4 The translation from a schedule to schedule tree

● 評価項目

- 満足度：立案されたスケジュールに対する満足度。従来手法のスケジュールの満足度と、提案手法のスケジュール群において一致する天気パターンに対応する部分の満足度を比較する。従来手法で求めたスケジュールと提案手法で求めたスケジュール木の例を図 4 の (b) と (a) に示す。図 4 の (a) では、最大天気に対応するスケジュールは、20%の到達確率を持つ雨 雨の場合である。この時、提案手法で求めたスケジュール木における雨 雨のパスに対する満足度は 175 点である（D100 点+F75 点）。一方、従来手法のスケジュールの満足度は 180 点である（D100 点+G80 点）。
- 期待値：立案されたスケジュール群における満足度の期待値。従来手法により得られたスケジュールを、どの天気においても巡回する目的地を変更しないようなスケジュール木に変換する。図 4 の (b) と (c) では、A D G と目的地を巡回するスケジュールは、どの天気変化パターンにおいても A D G と目的地を巡回するようなスケジュール群に変換される。そして、それぞれの節点への到達確率を計算し、スケジュール群の期待値と提案手法同じで計算する。これにより得られた

「従来手法のスケジュール群の期待値」と、提案手法のスケジュール群の期待値を比較する。この比較により、天気に応じたスケジュールを立案することの有効性を評価することができる。

4.3 比較結果

実験には、ランダムに生成された地図データと重要度の組み合わせ 10 個を用いた。ここではそれぞれの地図データに対して、表 3 に示す 5 つの天気予報データ（晴 晴、晴 雨、雨 晴、雨 雨、安定しない）を用いた。出発時間を 9 時、帰着時間を 17 時とした。これら地図データに対して従来手法（最大天気）、従来手法（最小天気）、提案手法を適用して満足度および期待値を計測した。実験結果を表 4 に示す。これらは 10 試行の平均である。最大天気、最小天気ともに、満足度で比較した場合は、提案手法はいずれの場合においても、平均 94.54%と 79.65%という悪い結果を示している。これは、提案手法が木構造全体を対象とした探索を行うため、1 本の経路のみを探索すればよい従来手法に比べて探索効率が悪いことが原因である。一方、期待値で比較した場合には、提案手法は、平均 104.06%と 157.78%の改善率を示している。これは、天気が確定的にわかっている場合でなければ、提案手法によりそれぞれの天気に対するスケジュールを用意しておくことが有効であることを示している。

表 4 提案手法と従来手法の比較結果
 Table 4 Comparison result with the previous method

改善率=提案手法の値/従来手法の値 × 100%					
実験データ		最大天気		最小天気	
地図	天気変化	満足度	期待値	満足度	期待値
地図データ 1	晴れ - 晴れ	97.18%	102.97%	90.89%	182.78%
地図データ 2		92.57%	109.11%	81.004%	173.43%
地図データ 3	雨 - 雨	94.93%	100.77%	69.76%	145.22%
地図データ 4		95.79%	100.21%	89.91%	143.41%
地図データ 5	晴れ - 雨	99.09%	102.58%	61.71%	267.22%
地図データ 6		94.67%	100.97%	71.83%	135.84%
地図データ 7	雨 - 晴れ	99.52%	101.13%	95.61%	146.28%
地図データ 8		98.72%	105.06%	78.36%	154.69%
地図データ 9	安定しない	82.17%	107.62%	70.98%	106.91%
地図データ 10		90.16%	110.26%	86.56%	118.01%
平均値		94.54%	104.06%	79.65%	157.78%

5. ま と め

本論文では、天気の変化に対応可能な観光スケジュール木算出問題に対して、欲張り法と局所探索法（*n*-swap 法）に基づいた近似アルゴリズムを提案した。この局所探索法は、部分木を単位とした目的地の置換を行うもので、同じ目的地を複数巡回するスケジュールを含まないスケジュール群を生成する点に特色がある。提案手法により得られたスケジュール群を評価するため、シミュレーションにより従来手法との比較実験を行った。その結果、提案手法は、もっとも確率の高い天候と低い天候を考慮して立てられたスケジュールに対し、4%から 58%上回る期待値を持つスケジュールを算出できることが分かった。

今後の課題として、移動中あるいは観光スポットを訪問中のリアルタイムな天気の変化を取り扱うことが挙げられる。また、徒歩や自転車で観光する際には、天気によって経路ごとの移動しやすさや、移動のために必要な時間が変化する可能性がある。そのため、観光スポットだけでなく移動経路に対する天候の影響を考慮する必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Helsgaun, K., "An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic," *European Journal of Operational Research*, Vol. 126, No. 1, pp. 106-130 (2000).
- 2) Ahuja, R. K., Ergun, O., Orlin, J. B., and Punnen, A. P., "A survey of very large-scale neighborhood search techniques," *Discrete Applied Mathematics* 123, pp. 75-102 (2002).
- 3) Maruyama, A., Shibata, N., Murata, Y., Yasumoto, K., and Ito, M., "P-Tour: A Personal Navigation System for Tourism," *Proc. of 11th World Congress on ITS*, pp. 18-21 (2004).
- 4) Wu, B., Murata, Y., Shibata, N., Yasumoto, K., and Ito, M., "A Method for Composing Tour Schedules Adaptive to Weather Change," *Proc. of the 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV'09)*, pp.1407-1412 (2009).
- 5) Yahoo Japan, "Yahoo! the weather information," <http://weather.yahoo.co.jp/weather>
- 6) Whitley, D., Starkweather, T., Fuquay, D., "Scheduling problems and traveling salesmen: The genetic edge recombination operator," *Proc. of the Third International Conf. on Genetic Algorithms and their Applications (ICGA'89)*, pp. 133-144 (1989).
- 7) Guo, Z. G. and Mak, K. L., "A Heuristic Algorithm for The Stochastic Vehicle Routing Problems with Soft Time Windows," *Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 2, No. 5, pp. 1449-1456 (2004).