

ユーザのリソースの消費を考慮した意思決定支援のための 複数経路提示手法の検討

Multi route suggestion method for decision support with consideration of user's resource consumption

平野 陽大[†] 諏訪 博彦[†] 安本 慶一[†]

Yodai Hirano Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

近年、カーナビやスマートフォンなどの普及から、はじめての土地でも容易に目的地に辿り着くことを支援するシステムができています。これは GPS を利用して地図にリアルタイムで現在地を表示することで、個人の行動に沿ったナビゲーションを行えることが理由の一つと考えられる。このようなナビゲーションシステムの発展として、今後より個人の状況や意思にマッチしたパーソナルナビゲーションシステムが求められてくると考えられる。未来のパーソナルナビゲーションシステムはユーザの行動や環境の変化にフレキシブルに対応する必要があるため、多くの情報をパラメータとして用いることが必要になる。しかしながらこの事実は同時に、ユーザが決定しなければならぬ入力情報やセンサなどによって収集すべきデータが増加することを意味しており、単純にパラメータの数を増やすだけでは、ユーザにとって使い勝手の良いシステムにはなりえない [1]。

また、こうしたパーソナルナビゲーションシステムは実に多くのシチュエーションを考慮する必要がある。システムを構築するうえで、それが屋内での使用を対象としたものなのか [2]、ヘルスケアへの活用を目標とした日常生活の行動を対象としたものなのか、それとも初めて行く観光地を対象としたものなのか [3] によって求められるものが大きく変化するからである。一つのシステムで、これらすべてのシチュエーションに対応できることが理想ではあるが、現実的ではない。

本稿では、観光を対象とするパーソナルナビゲーションシステムに注目する。観光客は、時間やお金、体力と行った複数のリソースを消費しながら観光を行い満足度を得る。これら複数のリソースの中には、トレードオフの関係にあるものもある。観光における満足度や観光客のリソース消費に注目したナビゲーションシステムの研究として、満足度と体力リソースの増減に着眼したスケジューリング [4] や、金銭や時間の消費といった相反するもののトレードオフを考慮した複数目的地の巡回システム [3] 等が存在する。しかしながら、真に歌詞の高い観光を行うためには、ユーザの所持する金銭や体力など

の複数のリソースの消費と観光中に得られる満足度のトレードオフを考慮した観光経路の案内が必要となるが、そのようなシステムは、著者らの知りうる限り提案されていない。

そこで、本研究では複数のリソース間でのトレードオフと、リソース消費と満足度の獲得とのトレードオフを考慮し、ユーザの欲求にマッチする観光経路を選択するための意思決定を支援するシステムを検討・設計する。以降、2章で本稿に関連する研究について紹介し、3章でケーススタディを通じた問題設定と問題の定式化を行う。次に4章で定義した問題に対する解決方法の提案を行い、またユーザビリティについても言及する。最後に5章で本稿のまとめを述べる。

2. 関連研究

関連研究としては前述した観光ナビゲーションシステムがあげられる。Siraishi ら [3] は、彼らが過去に設計したナビゲーションシステム P-Tour を拡張し、金銭及び満足度のトレードオフを考慮した多目的最適化を支援するナビゲーションシステムを開発している。このシステムでは、費用や満足度などの複数の相反する目的のもとでパレート最適解を複数求め、そのうちの幾つかをユーザに示すことでユーザにとっての最適なツアースケジュールを求める意思決定支援を行っている。しかしながら、この研究では体力（あるいは疲労）を考慮していないため、1日中歩き回るといった経路ばかりが提案される可能性がある。

これに対して武ら [4] は観光地の体力消費を制約として考え、満足度を最適化する観光ナビゲーションシステムを提案している。この手法ではヒューリスティックアルゴリズムである捕食法を利用して、全探索法と比較して有意に短い時間で全探索時の 95.65% の満足度を持つ解を得られることを明らかにしている。しかしながらこの研究では、体力を制約としてとらえて、体力が 0 にならないことを前提として、満足度を最大化することを目的としたスケジューリングを行っている。そのため、体力と満足度やコストのトレードオフについては考慮されていない。

実際の観光では、ユーザの嗜好や性格に合わせて時間

[†] 奈良先端科学技術大学院大学, Nara Institute of Science and Technology

やコスト、体力などのリソースと満足度といった相反する基準をバランスよく考慮した観光スケジュールを考案することが求められるが、上記で述べたとおりこれらのトレードオフを考慮した意思決定を支援することが可能な既存手法は、現在著者らの知りうる限り存在しない。

3. 問題設定

本章では、観光において、ユーザの持つリソースの消費と得られる満足度のトレードオフを考慮しながら、満足度を最大化する経路の探索問題を定義する。

3.1 Case Study

本問題に対する具体的なケースを挙げる。

3.1.1 単一目的地への移動

始めに観光を行う人物として、観光客 A を定義する(図 1)。観光客 A の性格として節約思考で、歩くのが嫌いな暑がりの人物を想定する。観光客 A は京都駅から清水寺まで行くことを目的としており、時間的制約として 13 時から 15 時の間の 2 時間の行動のみが許されていることとする。

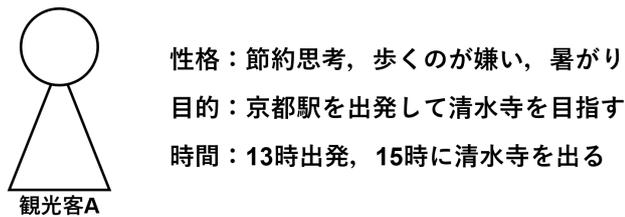


図 1: 観光客 A の設定

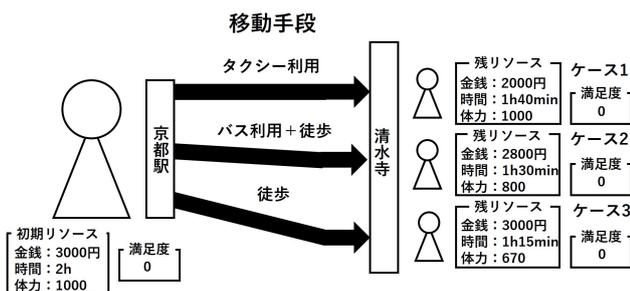


図 2: 移動手段とリソース及び満足度の変化

ここで観光客 A が、京都駅から清水寺まで移動するケースを考えると、移動手段の違いにより次のケース 1,2,3 が考えられる(図 2)。ここでの満足度は観光によって得られるものとして定義するため、移動中の変化は考慮しない。また、ユーザの持つリソースとして金銭、時間、体力の三種類を考える。

ケース 1 は体力と時間のリソースを消費しない経路となっている。具体的にはタクシーを利用することで体力

を消費することなく目的地にたどり着けるが、トレードオフとして 1000 円の金銭リソースの消費がある。また、移動時間は 20 分で 3 つのケースの中では最速で目的地に到着するケースとなっているので、金銭リソースを多く消費してでも最速の移動を行いたい場合だと言うことができる。

次にケース 2 はバス停からの徒歩の経路と、バスでの移動を併用した経路となっている。この経路ではバス料金の 200 円が金銭リソースから消費され、徒歩による移動によって体力リソースも 200 消費されている。ここでの徒歩の体力消費は距離に比例するものとして考えた。また、移動時間は 30 分であり、ケース 1 には劣るが早い移動方法であると言える。

最後のケース 3 は徒歩のみによる移動であり、体力と時間のリソースを最大限に利用しており、体力を 330、時間は 45 分消費している。これはどちらも 3 ケースの中で最大の消費となっている。しかし、3 つのケースの中で唯一金銭のリソース消費 0 円で移動できる経路となっている。つまり金銭リソースの代わりに体力リソースと時間リソースを消費する例であると言える。

ここで、観光客 A が以上 3 つの選択肢からどの移動手段を選択するか考える。今回の観光客 A の性格が「節約思考」で「歩くのが嫌い」であることを考慮すると、観光客 A はケース 2 を選択するであろう。これは歩くことによる体力消費が少なく、なおかつケース 1 と比べて金銭の消費が大きくないからである。ケース 1 は金銭の消費が大きいため観光客 A の性格と反する。また、ケース 3 では金銭消費はないが歩行によって体力を使い時間が長すぎるため、観光客 A の性格では選択しない。この結論は観光客 A の性格に依るものであり、一般的にはそれぞれのケース間をリソース消費と満足度の観点から定量的に比較して優劣を評価することは難しい。そこで経路提案においてはユーザにとって適当と思われる複数の経路を提案して、その中からユーザが最適と考えるものを選択するという手法が妥当であると言える。

3.1.2 複数経由地点の考慮

しかしながら、実際の観光では地点 1 から地点 2 までの経路提案だけでは不十分である。実際は複数の経由地点が存在し、各観光場所での時間の配分やそれぞれの地点を回る順番などを考慮する必要がある。そこで先の観光客 A が 12 時に京都駅を出発して、清水寺、金閣寺、嵐山を観光して 17 時に京都駅に戻ってくるというケースを考える。この時、観光地をめぐる順番やそれぞれの観光地にどれくらいの時間滞在するのか、といったシチュエーションの変化による残りリソースへの影響を考慮した

表 1: 各地点への移動方法及びリソースの消費

出発地点	リソース	到着地点											
		京都駅			清水寺			金閣寺			嵐山		
		Taxi	交通機関	徒歩	Taxi	交通機関	徒歩	Taxi	交通機関	徒歩	Taxi	交通機関	徒歩
京都駅	金銭(円)	-	-	-	1410	230	0	3010	420	0	3890	470	0
	時間(分)	-	-	-	11	13+17	40	20	7+16	100	30	19+15	130
	体力	-	-	-	0	140	330	0	40	810	0	80	1030
清水寺	金銭(円)	1410	230	0	-	-	-	3410	460	0	4290	460	0
	時間(分)	14	15+12	40	-	-	-	27	36+17	120	35	25+46	150
	体力	0	120	330	-	-	-	0	130	960	0	180	1170
金閣寺	金銭(円)	3090	490	0	3330	460	0	-	-	-	2770	460	0
	時間(分)	22	7+25	100	27	36+17	110	-	-	-	20	17+35	100
	体力	0	40	810	0	130	910	-	-	-	0	120	800
嵐山	金銭(円)	3890	470	0	4210	450	0	3010	460	0	-	-	-
	時間(分)	30	18+15	130	35	29+26	150	26	20+33	110	-	-	-
	体力	0	80	1030	0	230	1170	0	160	800	-	-	-

くではないという問題が存在する。

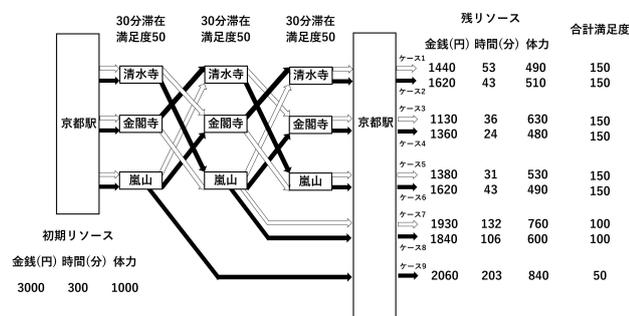


図 3: 公共交通機関での移動例

まず初めに、京都駅、清水寺、金閣寺、嵐山の各地点間の移動方法及びリソースの消費を表1にまとめた。ここでは移動方法をタクシー、公共交通機関、徒歩に限定し、公共交通機関を利用する場合は特別に「徒歩での移動+公共交通機関での移動」と定義した。公共交通機関における消費時間リソースのセルの+の前が徒歩での移動時間、後ろが交通機関での移動時間となっている。また、先ほどの例で単区間の移動に対してバスでの移動(徒歩+公共交通機関)を利用したので、すべての観光地を回り、移動を徒歩+公共交通機関のみで行った場合を考える。この時、移動ケースは図3に示されるような、ケース1~ケース6の6通りが挙げられる。それ以外に観光地を金閣寺と嵐山、清水寺と嵐山のように二か所に絞ったケース(ケース7, ケース8)や、嵐山のみ観光とした場合(ケース9)も考慮する。今回の例ではすべての観光地の滞在時間を30分に、満足度を50に統一してケースの比較を行った。これらのケース間の比較では、ケース1とケース4のように優劣を判定することができる関係とケース1とケース2やケース1とケース7のように、単純な比較では優劣のつけようがない関係が存在していることがわかる。リソースを消費することで満足度が向上

することは明らかであるが、同じ満足度の中でもリソース消費の組み合わせは多数存在する。

このように公共交通機関のみでの移動を考えた時でも、各地点を回る順番によってリソース残量に変化が現れるということがわかる。さらに、観光にとって重要なパラメータとなる満足度を考慮する必要もあるため単純に消費リソースの最適化だけでは不十分である。なぜなら同じリソース消費でも、どこでリソースを消費するかで得られる満足度も変化する可能性が存在するためである。例えばケース7,8などは観光地を2か所にする代わりに、各観光地に1時間ずつ滞在するというような選択肢を得ることができる。つまり複数の観光地を巡るようなケースでは、消費リソース間の最適化と消費リソースと満足度の最適化を同時に行う必要がある。そして優劣をつけることができないケース間においても、ケースを複数のグループに分けて類似度を考慮することが必要となる。

3.2 パラメータの選定

ユーザの持つリソースは非常に多く、そのすべてを考慮することは難しい。そこで、本研究では観光の満足度に対する影響が大きいと考えられる、金銭、時間、体力の三要素をユーザの持つリソースとして定義した[3][4]。すべてユーザの行動に対する制約となりうるパラメータであり、また回復可能なものである。しかし、体力については直接の測定が非常に難しいため、精神的要素としてストレスを、肉体的要素として運動量を用いることで推定する。また、満足度については各経路、各経由地点の滞在時間と環境情報により決定する値であると定義する。この時、必要なデータが以下のようにあげられる。

- (1) 環境情報(温度, 湿度, 現在地点)
- (2) 観光における最大消費金銭(初期金銭的リソース)
- (3) 目的地到達までの目標時間(初期時間的リソース)
- (4) 経路, 経由地での消費金銭(消費金銭的リソース)

- (5) 経路, 経由地での消費時間 (消費時間的リソース)
- (6) 経路, 経由地でのストレス (消費体力的リソース)
- (7) 経路, 経由地での運動量 (消費体力的リソース)
- (8) 経路, 経由地での満足度

これらのデータのうち (1) はセンサから, (2),(3) は入力値として得られる. (4) ~ (8) は目標地点に到達時の残りリソースと満足度を算出するための要素であり, 経路ごとに算出することで求めることができる.

3.3 定式化

始めに, 訪問する観光スポット (経由地点) の集合を $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ とする, また, リソースの初期値を $\mathbf{r}_0 = (m_0, t_0, s_0)^T$, とおく. ここで m は金銭リソースを, t は時間リソースを, s は体力リソースを指す. ユーザの入力値は予算 m_0 と行動可能時間 t_0 となる. また, n 箇所の観光スポットをめぐるあとのシステムによって予測される残りリソースを $\mathbf{r}_n = (m_n, t_n, s_n)^T$ とする. 以上の条件で, 各経路によるリソースの消費を考えるときの目標地到達時点での各リソースは

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_n &= \mathbf{r}_0 - \sum_{i=0}^{n-1} [\mathbf{CR}(x_i) + \text{moveCR}(x_i, x_{i+1})] - \mathbf{CR}(x_n) \\ \mathbf{r}_n &= (m_n, t_n, s_n)^T \\ \mathbf{CR} &= (CM, CT, CS)^T \\ \text{moveCR} &= (\text{move}CM, \text{move}CT, \text{move}CS)^T \end{aligned}$$

と表すことができる. ここで, $\mathbf{CR}(x_i)$ は経由地点 x_i での各リソースの消費を, $\text{moveCR}(x_i, x_{i+1})$ は経由地点 x_i から経由地点 x_{i+1} までの経路での消費を表す. CM, CT, CS は, 全ての経由地点における金銭, 時間, 体力の成分だけを取り出したベクトルである. $\text{move}CM, \text{move}CT, \text{move}CS$ も同様である.

次に満足度の評価について言及する. システムによって予想される満足度 c は, 各経路および各経由地点の滞在時間と環境情報により決定する値であると定義した. このことから, 満足度は以下のように定式化される.

$$\begin{aligned} c(\mathbf{X}) &= \sum_{i=0}^{n-1} [SAT(x_i) \\ &\quad + \text{moveSAT}(\text{move}CT(x_i), e_i, x_i, x_{i+1})] + SAT(x_n) \end{aligned}$$

ただし $SAT(x_i)$ は経由地点 x_i で得られる満足度, $\text{moveSAT}(\text{move}CT(x_i), e_i, x_i, x_{i+1})$ は 経由地点 x_i から経由地点 x_{i+1} の間の経路で得られる満足度である. また, 満足度は常に正の値を取るとする. 目的関数は残りリソースと満足度の最大化となるため, 以上の式から

$$\text{maximize}(m_n(\mathbf{X}), t_n(\mathbf{X}), s_n(\mathbf{X}), c(\mathbf{X}))$$

となる. この目的関数を解いて最適解を求めることが本問題の主題となる.

4. 提案手法

4.1 基本方針

3章で定義した問題は多目的最適化問題であり, 最適な解 (パレート最適解と呼ばれる) は複数存在する. また, パレート最適解に含まれる解の間には優劣関係は決まっていないため, 複数のパレート最適解からユーザにとって最も良い解を一つ得るためには, ユーザの選択が必要となる. つまり, 満足度の最大化とユーザリソース消費の最小化を目的とする複数のパレート最適解を求め, それらの中からユーザにとって有望そうな少数の候補を提示してもっとも適当なものを選択させるという手法が有効である. なお, ユーザがどのリソースを重要視するかによって, パレート最適解の中から抽出・提示する解候補は変化させることとする.

4.2 提案システム

このシステムにおけるユーザの入力は, 初期値であるリソースの最大値 (予算や行動可能時間等) と目的地点及び経由地点であり, その他の環境情報はセンサ等で取得する設計となっている. ここで得た値からリソース残量と満足度の最適解を算出する. しかしながら本システムにおける最適化問題は組合せ最適化問題であり, NP困難な問題であると予想されることから, 厳密解を実用時間で求めることは難しい. そこで NSGA-II [5] といったヒューリスティックアルゴリズムを利用することで, 準最適解を求める際の計算時間の短縮を図る. システムの流れとしては以下ようになる.

<STEP1>

NSGA-II を利用してユーザのリソース残量と満足度から準最適解を求める.

<STEP2>

算出された準最適解の中から, ランダムにいくつかの解を提案する. この時過去のユーザの選択傾向からランダムに提案する解の中に有力候補を一つ混ぜる.

<STEP3>

ユーザが提案を選択するか, または別の解を再提示させる. この時システムが再提示する解は先に提示された解から離れたものを優先的に提示する.

<STEP4>

ユーザが提案を選択した場合は, 経路の提示と行動終了後の予想リソース残量及び満足度を表示する.

4.3 推定値

本節では, 最適解の算出に必要な各リソースの消費値, 満足度の推定方法を提案する.

4.3.1 体力の推定

体力の消費は運動量に連動すると考えられるが、ストレスレベルにも左右されると考えられる。そのため、以下の方法で得るストレスの推定値と運動量の推定値を利用することで、体力消費を定量的に推定する方法を開発する。様々な被験者からデータを収集し、様々なストレス下、様々な運動量による体力消費を高い精度で推定できるようにする。

<ストレスの推定>

現在、唾液によってストレス値を評価する手法が注目されている [6]。この手法は非常に手軽に行え、かつ唾液に含まれる酵素の含有量が基準となっているため定量的な評価といえる。また、会話の量などの音情報からストレスを推定する研究 [7] や、ストレスの指標としてモバイル環境で利用しやすい心拍間隔を利用した研究 [8] も存在する。

こうした方法によって計測されたストレス値の変動と外部からの入力である気候や天候、混雑度といった情報を関連付けて学習することで、現環境のデータから大まかなストレス値の変動を推定できる。例えば、晴れの日の歩行と雨の日の歩行では後者のほうが圧倒的にストレスが高いと考えられる。このように環境データからストレスに対する指標を作製することで移動のストレスを評価する。

<運動量の推定>

Higuchi ら [9] はユーザの体重、身長、年齢、性別と加速度センサーを内蔵した歩数計の測定結果から運動量の推定を行っている。これはユーザの歩行のモデルを利用して、移動距離や高低差などの情報から加速度データを予測することができれば、運動量を推定することができるということを示している。

4.3.2 満足度の推定

本研究では、観光における満足度は観光スポットの魅力と観光客のそのスポットに対する嗜好で決定されるとする。前者はトリップアドバイザーなどの口コミサイトから、後者については、階層的分析法により幾つかの観光スポットを比較するアンケートに回答する [10] ことで決定するものとする。

4.4 ユーザインターフェース

本研究の最終的な目標として、ユーザによる提案した経路の採択率の向上があげられる。そのためにはシステム自体が非常に単純明快な結果を出力するものでなくてはならない。特にその経路を採択した時に、目標地で

ユーザ自身がどのような状態になっているかというのを伝える必要がある。これにはリソースの残量や得た満足度を数値として表すだけでは不十分である。そこで、より分かり易く目的地到着後のユーザの状態予想を伝えるために、ユーザのモデルを作成して目標値到着時に予想される表情や汗の量などをそこに反映させる (図 4) などの方法で、情報を直観的にユーザが得られるようなインターフェースを考案する。このユーザインターフェースを利用することで、即座に行動後の望ましいシチュエーション (例えば: 汗をかいていない経路、疲労していない経路) を確認して意思決定に反映することができる。

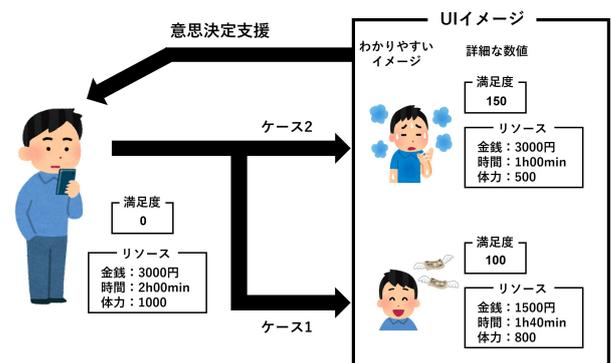


図 4: ナビゲーションシステム使用イメージ

5. まとめ

本稿では、ユーザのリソースとして体力、金銭、時間を用いた観光の満足度を最適化するためのナビゲーションシステムを新しく提案した。特に体力リソースについては直接の定量的な推定が難しいため、肉体的な体力である運動量と精神的な体力であるストレス量から推定することとした。また、満足度に関しては観光スポットの持つ魅力と観光客のスポットに対する思考の双方を考慮することで、観光客個人にあった評価とした。

システムとしてはリソース残量と満足度を最大化することを目的関数とし、多目的最適化の考え方から準最適解をユーザに提示する解の集合とした。しかし、準最適解すべてを提案するのは非常にユーザにとって使いにくいシステムである。そこで、算出された準最適解の中からランダムにいくつかの解を提案することとした。この時過去のユーザの選択傾向からユーザの嗜好を取り入れ、提案する解の中に有力候補としてユーザの嗜好にあったものを一つ混ぜることで、ユーザビリティの向上を考慮した。この解の中からユーザがどの提案も選択しない場合、別のいくつかの解を再提示し、この時の解は先に提示された解から離れたものを優先的に提示するものとして考えた。そしてユーザがどれかの提案を選択すれば結果を出力して終了するシステムを提案した。

今後の展望としては、いまだ提案段階であるこのシステムのアルゴリズムの実装を行い、その計算時間、提案経路の精度を全探索の場合との比較などから評価する予定である。また、システムにとって必要になる満足度の評価を行うための参加型センシングと、ストレスと運動量から体力値を推定するアルゴリズムについて検討を行う必要があると考えている。

そして、今回提案したシステムを実装することでユーザの意思決定がどのように変化するのか、意思決定支援のための複数経路提示手法が観光客の行動に対してどのような影響を与えるのかを評価する手法について検討したい。

参考文献

- [1] Jrg Baus, Antonio Krger, and Wolfgang Wahlster. A Resource-adaptive Mobile Navigation System. *IUI '02*, pp. 15–22. ACM, 2002.
- [2] Andreas Butz, Jrg Baus, Antonio Krger, and Marco Lohse. A Hybrid Indoor Navigation System. *IUI '01*, pp. 25–32. ACM, 2001.
- [3] Takayuki Shiraishi, Munenobu Nagata, Naoki Shibata, Yoshihiro Murata, Keiichi Yasumoto, and Minoru Ito. A personal navigation system with functions to compose tour schedules based on multiple conflicting criteria. *IPSJ Digital Courier*, Vol. 1, pp. 528–536, 2005.
- [4] 兵武, 孫為華, 村田佳洋, 安本慶一, 伊藤実. ユーザの体力変化に対応可能な観光スケジュールの立案手法. *情報処理学会論文誌*, Vol. 54, No. 3, pp. 1141–1152, 2013.
- [5] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 6, No. 2, pp. 182–197, April 2002.
- [6] 山口昌樹. 唾液マーカーでストレスを測る. *日本薬理学雑誌*, Vol. 129, No. 2, pp. 80–84, 2007.
- [7] Hong Lu, Denise Frauendorfer, Mashfiqui Rabbi, Marianne Schmid Mast, Gokul T. Chittaranjan, Andrew T. Campbell, Daniel Gatica-Perez, and Tanzeem Choudhury. StressSense: Detecting stress in unconstrained acoustic environments using smartphones. *UbiComp '12*, pp. 351–360. ACM.
- [8] 福田修之, 水本旭洋, 和田健, 安本慶一. Pc 入力装置とセンシングチェアを活用したデスクワーカのストレス推定. *情報処理学会関西支部支部大会*, 2018.
- [9] Hiroyuki Higuchi, Makoto Ayabe, Munehiro Shindo, Yutaka Yoshitake, and Hiroaki Tanaka. COMPARISON OF DAILY ENERGY EXPENDITURE IN YOUNG AND OLDER JAPANESE USING PEDOMETER WITH ACCELEROMETER. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, Vol. 52, No. 1, pp. 111–118, February 2003.
- [10] 日高真人. オンサイト観光プランニングのための観光スポット推薦システムの実現. Master's thesis, 奈良先端科学技術大学院大学修士論文 (未公開), 2018.