



Web情報を活用した自動献立作成における制約条件を考慮できる粒子群多目的最適化の並列分散処理

1815008 安藤祐斗 電子・情報工学科 指導教員 Antonio Oliverira Nzinga Rene

要約

本研究では、学校や病院で実際に行われている献立の作成を、Webから得られるレシピ情報や食材単価情報を活用し、制約条件のもと多目的で最適化する自動献立作成システムを提案する。多目的最適化の手法として、制約条件を考慮できる多目的粒子群最適化（Particle Swarm Optimization: PSO）を採用する。また、最適化問題は最適解を得るために膨大な時間がかかる可能性があることを考慮し、並列分散処理を利用して最適化プログラムを実行する。

キーワード：
献立作成、粒子群最適化、多目的、並列分散

1 はじめに

現在、学校給食や病院食の現場では、学生や患者に必要な栄養のことを考え、様々な食材の組み合わせからなる献立を作成している。また、近年、生活習慣病を患う人々が増加している。

生活習慣病とは「食習慣、運動習慣、休養、喫煙、飲酒、ストレスなどの生活習慣を原因として発症する疾患の総称」のことであり、深刻な疾患に深く関与している。その要因には、偏った栄養による食生活や運動不足、飲酒、喫煙などが挙げられる。この生活習慣病を防ぐためには、過度な喫煙や飲酒を控えることや、栄養バランスの良い献立の作成することが重要視されている。^[1]

しかし栄養バランスの取れた献立を作成するには、メニューの組み合わせや栄養価の計算を考慮する必要があり、献立を考えることは面倒だと考える人は少なくない。そのため、栄養やメニュー組み合わせの観点から献立そのものをコンピュータによって最適化し、自動作成する研究が存在する。

2 自動献立作成の概要

2.1 自動献立作成支援システムの概要

最適化とは、「制約条件のもと、複数の選択肢を組み合わせて何か結果を出すとき、その結果（目的関数）を最小、もしくは最大にすること」であり、メリットとして自動化による結果が出るまでの労力、作業時間が削減されることや、現実的ではない時間がかかる答えを導くことができる事が挙げられ、献立作成にも活用されている。

献立における制約条件として、何日分の献立を作成するか、カロリーをどのくらい制限するか、特定の栄養素を最低でもどのくらい取得するか、などが挙げられる。また、目的関数として、調理時間の最小化や個人の嗜好の最大化などが挙げられる。

既存の献立作成の最適化方法は、栄養摂取量を制約条件として、費用最小化を目的関数とした、線形計画法の利用による手法や、既存の単品料理を献立に加えるか加えないかを整数計画問題で表し、費用、調理時間の最小化を目的とした手法が存在する。

2.2 Web上のレシピデータを活用

現在、cookpadやクラシル、DELISH KITCHEN、ボブとアンジーなどの料理レシピサイトと呼ばれるサイトが多数存在する。これらのサイトには、料理名、料理のイメージ、和食や洋食などの料理ジャンル、必要な材料、料理工程、摂取カロリー、調理時間、得られるすべての栄養素などの情報がレシピページに掲載されている。

また、生鮮食品や加工食品、畜産品などの価格動向を前月や前年同月と比較して提供しているサイトが存在している。

データベースのイメージ

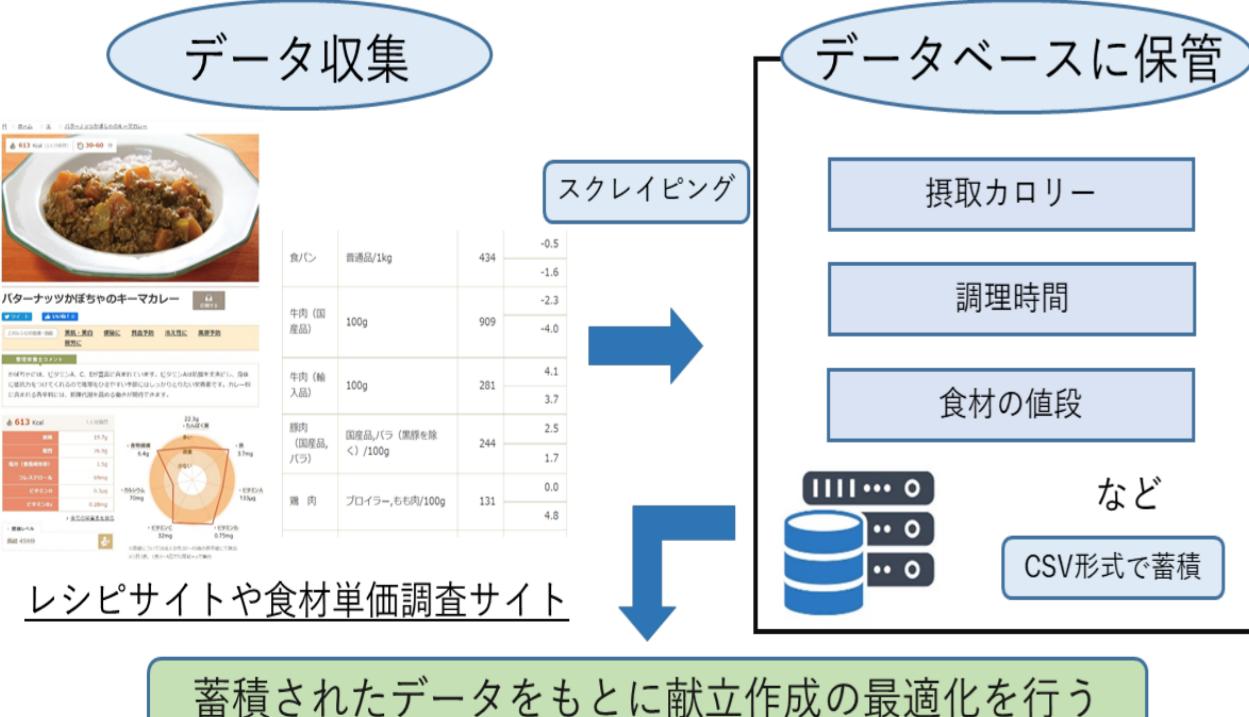


図1 データ収集と活用

本研究では、レシピサイトである「ボブとアンジー」からレシピ情報を、食品価格動向を調査しているWebサイトから食材とその価格をスクリーピングし、データベースに蓄積し、献立作成の最適化に活用する^{[2][3]}。レシピサイトと食品価格サイトからのスクリーピングによって得られるデータの流れを図1に示す。

2.3 多目的最適化による自動献立作成

多目的最適化とは、ある制約条件のもと、複数の目的関数を最大化、あるいは最小化する最適化法である。多目的最適化問題は、あらゆる分野において存在し、それらは全ての目的関数を最大化、あるいは最小化するような最適解が存在するとは言えないため、パレート最適という概念を導入する必要がある。

パレート解とは、ある目的関数を満たそうとしたときに、他の目的関数が犠牲になり満たされなくなってしまう解のことであり、パレート解は一般的に一つにとどまらず複数存在するので集合となる。実際にはその中から解を選択することになる。また、パレート最適解集合が形成する面はパレート最適フロントと呼ばれている。

本研究で提案する献立作成システムにおける多目的最適化の定式化を図2に示す。目的関数には調理時間、調理コスト、食材ロスの最小化を設定し、制約条件には、1日に摂るべき各栄養素の量やカロリーを満たすような献立を作成するという制約や、1つの献立に対して主菜を1つ、副菜を3つとする制約などを設定する^[4]。

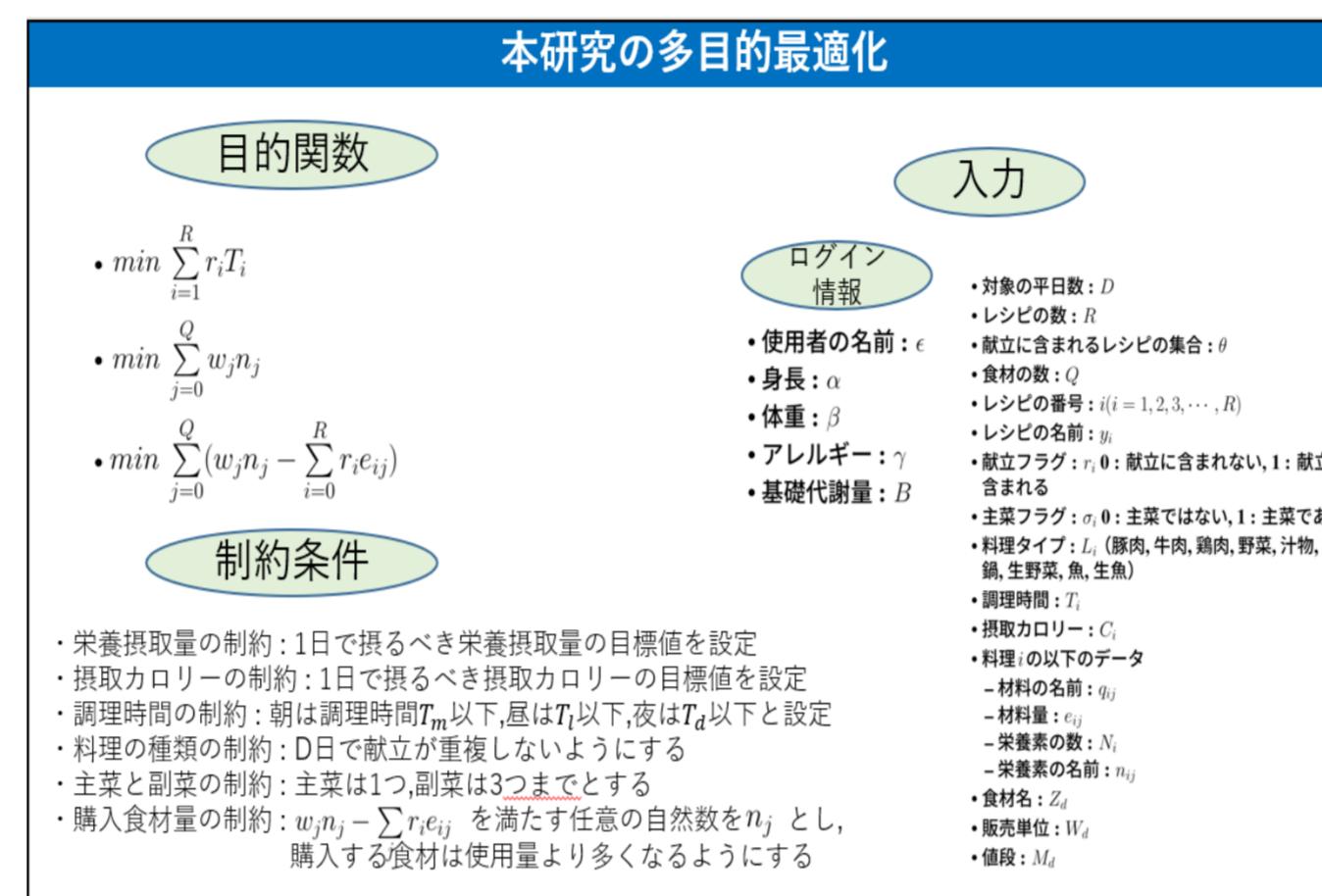


図2 本研究の多目的最適化

3 制約条件を考慮できる多目的PSO

3.1 粒子群最適化による解法

粒子群最適化（PSO）とは、鳥や魚などに観察される群知能を探索手法に応用したメタヒューリティクスアルゴリズムの一つであり、組み合わせ最適化問題の近似解を求めるための手法である。

そのPSOを応用し、制約条件に対応した上下限制約連続時間PSOモデルとそれを離散化したモデルを図3に示す。連続式は、プログラムへの実装を考えたときに、実装することが困難であることが懸念されたため、上下限制約連続時間PSOモデルを離散化し、非線形変数変換モデルである離散化PSOを、オイラー法を用いることによって作成する。

制約を考慮したPSO

<連続時間PSO>		<離散化PSO>	
min E (x)	subject to $p_i \leq x_i \leq q_i, i = 1, \dots, n$	オイラー法を用いて連続式を離散化する。	
$x_i = \frac{q_i - p_i \exp(-y_i)}{1 + \exp(-y_i)}$		$u^p(k+1) = (1 - a\Delta t)u^p(k) + \Delta T v^p(k),$ $v^p(k+1) = v^p(k) + c_1 T [F^p(u^p(k), k) + C(u^p(k), k) - \nabla E(u^p(k), k)],$ $F^p(k, k) = c_1(u^p(k)) - u^p(k),$ $C^p(k, k) = c_2(u^p(k)) - u^p(k),$ $\nabla E(k, k) = -\frac{\partial E(k, t)}{\partial k},$ $P(k) = \arg\min_{k \in \mathbb{R}} E(x^p(t)) , t = 0, \dots, k,$ $(Q(k), I^p(k)) = \arg\min_{I^p \in \mathbb{R}^{k+1}} E(x^p(I^p)) , t = 0, \dots, P, I^p = 0, 1, \dots, k,$ $x^p(k) = f_i(u^p(k)), i = 1, \dots, n.$	
制約条件付問題に代入し、 x を消去すると min E(f(y))	を得ることができる、よって次式を得る。 $\frac{d^2y(t)}{dt^2} + a \frac{dy(t)}{dt} = c_1 F^p(y^p(t), t) + C(y^p(t), t) - \nabla E(y^p(t), t)$	$u^p(k+1) = (1 - a\Delta t)u^p(k) + \Delta T v^p(k),$ $v^p(k+1) = v^p(k) + c_1 T [F^p(u^p(k), k) + C(u^p(k), k) - \nabla E(u^p(k), k)],$ $F^p(k, k) = c_1(u^p(k)) - u^p(k),$ $C^p(k, k) = c_2(u^p(k)) - u^p(k),$ $\nabla E(k, k) = -\frac{\partial E(k, t)}{\partial k},$ $P(k) = \arg\min_{k \in \mathbb{R}} E(x^p(t)) , t = 0, \dots, k,$ $(Q(k), I^p(k)) = \arg\min_{I^p \in \mathbb{R}^{k+1}} E(x^p(I^p)) , t = 0, \dots, P, I^p = 0, 1, \dots, k,$ $x^p(k) = f_i(u^p(k)), i = 1, \dots, n.$	
を得ることができる、よって次式を得る。 $\frac{d^2y(t)}{dt^2} + a \frac{dy(t)}{dt} = c_1 F^p(y^p(t), t) + C(y^p(t), t) - \nabla E(y^p(t), t)$	また、それぞれの関数は以下のようにある。 $F^p(y^p, t) = c_1(y^p(T^p(t) - t)),$ $C^p(y^p, t) = c_2(y^p(t)) - y^p(t),$ $\nabla E(y^p, t) = c_3 \frac{\partial E(y^p, t)}{\partial y^p}.$	$u^p(k+1) = (1 - a\Delta t)u^p(k) + \Delta T v^p(k),$ $v^p(k+1) = v^p(k) + c_1 T [F^p(u^p(k), k) + C(u^p(k), k) - \nabla E(u^p(k), k)],$ $F^p(k, k) = c_1(u^p(k)) - u^p(k),$ $C^p(k, k) = c_2(u^p(k)) - u^p(k),$ $\nabla E(k, k) = -\frac{\partial E(k, t)}{\partial k},$ $P(k) = \arg\min_{k \in \mathbb{R}} E(x^p(t)) , t = 0, \dots, k,$ $(Q(k), I^p(k)) = \arg\min_{I^p \in \mathbb{R}^{k+1}} E(x^p(I^p)) , t = 0, \dots, P, I^p = 0, 1, \dots, k,$ $x^p(k) = f_i(u^p(k)), i = 1, \dots, n.$	

図3 連続時間PSOの離散化

上下限制約付最適化問題を解くにあたり、「変数変換モデル」を導入する必要があるため、上下限制約領域内に問題の変数を変換して無制約化した、新たな変数空間に無制約PSOモデルを適用する。そのために x を x_i とおき、制約条件付き問題にこの変換式を代入することにより変数 x を消去し、非線形変数変換モデルを作成する。

3.2 並列分散処理による解法

並列分散処理とは、複数台のコンピュータを用いて複数のCPUや、メモリを使うことで一つの計算処理を行い、性能や計算速度の向上を図ることである。あるタスクをどう分散させ、どう実行するか、複数のコンピュータによる処理結果はどう一つの結果にまとめたらよいか、などの問題があり、導入は容易ではなかったが、HadoopやApache Sparkなどの並列分散ソフトウェアが台頭したことによって並列分散処理の利用に対する敷居は低くなりつつある。

本研究で使用する並列分散処理ソフトウェアは、最適化問題を解く際に必要な巨大なデータに対して、高速に分散処理を行う必要があるため、Sparkを選択した。Sparkは、処理するデータを格納するためのファイルシステム

であるHDFSと、RDDと呼ばれる並列実行可能なコレクションによって構成されている。

4 提案システム

本研究で提案する、献立作成システムの流れを図4に示す。まず最初に、献立作成の最適化に必要な、レシピデータと食材価格データを、Webサイトからスクレイピングし、データベースに蓄積する。

次に、蓄積されたレシピデータ、食材価格データと、システムを使用するユーザーの基礎代謝量やアレルギー情報を入力として、摂取栄養素やカロリーなどの制約条件のもと、調理時間、コストとロスの最小化を目的関数に設定した最適化問題を、制約条件を考慮した多目的PSOによって解く。最後に、設定した日にち分の献立をユーザーに出力する。さらに、最適化の工程で複数のPCを利用し、並列処理を行うことでプログラム実行時間の速度向上を図る。

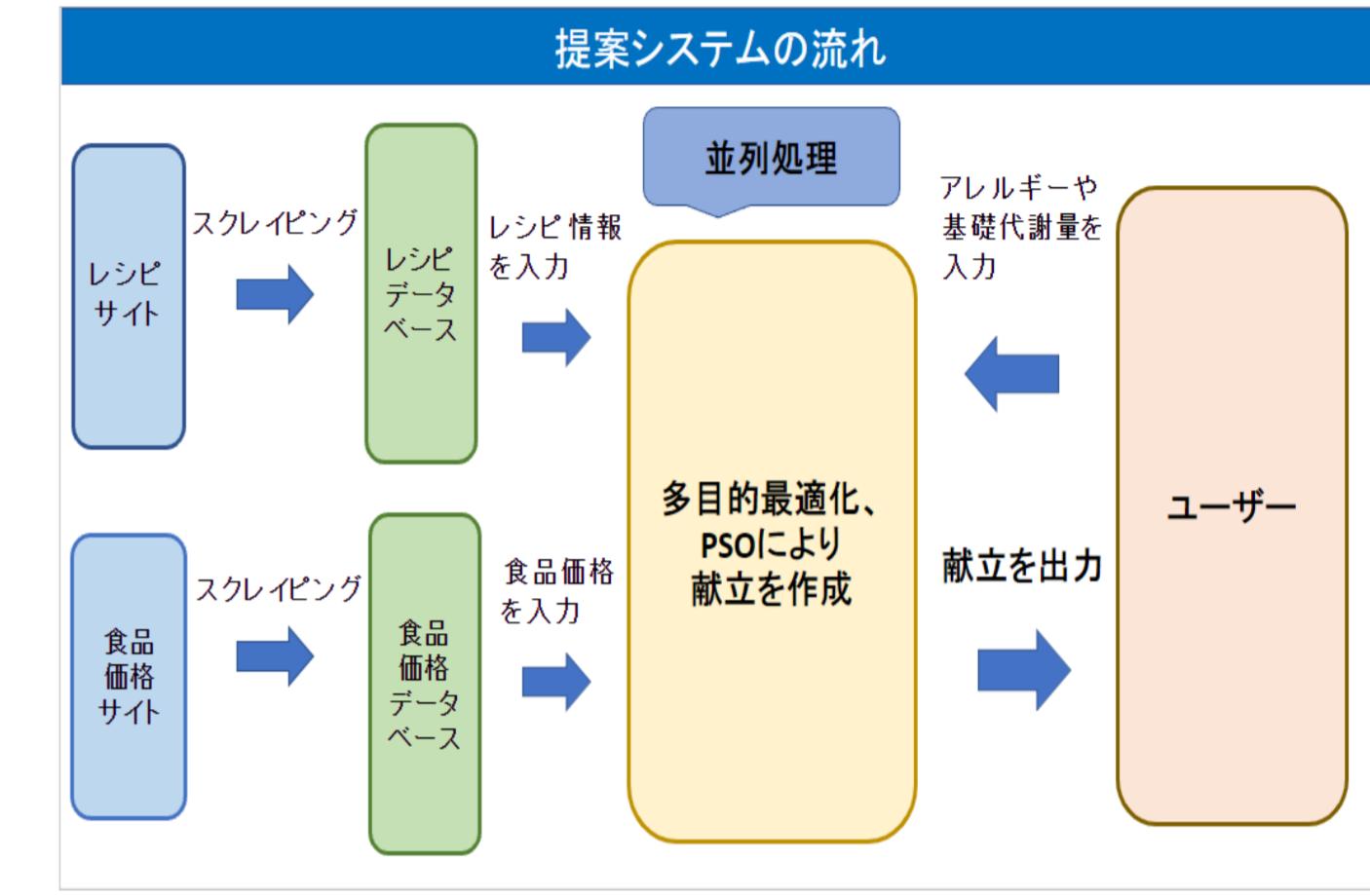


図4 提案システム

5 数値実験並びに考察

実際にレシピサイトと食品価格掲載サイトから、スクレイピングし、CSVファイルに出力した「ビタミン野菜のチーズドライカレー」のレシピデータと野菜の価格データを図5に示す。レシピデータはレシピNo.、レシピの名前、必要材料名、必要材料数、摂取栄養名、摂取栄養量で構成され、食品価格データは食品とその価格で構成される。

レシピデータの食材量や食品価格のデータは、式に変数として入れられるようにデータの整形が必要である。

レシピデータ	
A	B
1 レシピNo レシピの名前	食品名
2 71211 チーズドライカレー	トマト
3 71211 チーズドライカレー	玉ねぎ
4 71211 チーズドライカレー	人参
5 71211 チーズドライカレー	カボチャ
6 71211 チーズドライカレー	セロリ
7 71211 チーズドライカレー	アスパラガス
8 71211 チーズドライカレー	カット白菜
9 71211 チーズドライカレー	小松菜
10 71211 チーズドライカレー	大根
11 71211 チーズドライカレー	セロリ
12 71211 チーズドライカレー	玉ねぎ
13 71211 チーズドライカレー	人参
14 71211 チーズドライカレー	セロリ
15 71211 チーズドライカレー	アスパラガス
16 71211 チーズドライカレー	セロリ
17 71211 チーズドライカレー	セロリ
18 71211 チーズドライカレー	セロリ
19 71211 チーズドライカレー	セロリ

食品価格データの一部	
A	B
1 食材名	価格
2 長ねぎ 2 本	169
3 長ねぎ 1 本	94
4 にんじん 1 本	136
5 ビーツ 1 袋	104
6 なす 3 本 1 本	136
7 豆苗 1 パック	104
8 インゲン豆 小豆 大豆 もやし 1 パック	71
9 ズッキーニ 1 本	211
10 ベビーリーフ 1 パック	169
11 ベビーリーフ 1 本	104
12 綿葉もやし 1 本	19
13 大根 1 パック	94
14 ごぼう 1 パック	211
15 いんじん 1 本	211
16 玉ねぎ L M サイズ 1 本	211
17 にんじん 1 本	136
18 にんじん 1 本	72
19 里芋 1 パック	211

図5 レシピと食品価格データ

6 おわりに

近年増加する生活習慣病を予防する一つの方法として、栄養バランスのとれた食事をとることが推奨されている。最適な献立作成には、煩雑な栄養価計算やメニューの組み合わせなどから発生する難しさを含んでいる。また、献立作成は学校や病院で実際に行われているため、最適化解は実時間で解かなければならない。

これらを解決するために、本研究では、Webサイトから得られるレシピ情報や食材価格を活用し、制約条件を考慮できる多目的PSOによって最適化された献立を自動で作成することにより、煩雑な計算の手間をなくし、また、並列分散処理を行うことで、最適解を得る時間が削減できるシステムを提案する。

参考文献</h2