

オープンデータを活用したフードロス回収における経路最適化

金子 格¹, 湯田 恵美¹ 岡田 仁志²

概要: オープンデータを用いたフードロス低減を検討している。2015年に国連サミットで全会一致で採択されたSDGsは様々な要因がある中でも国際社会が継続的にとりくむべき重要な課題である。また、ポストコロナでは感染抑制と経済活動の両立はコロナ渦の長期継続の中で重要な課題となっている。そこでDXの進展にともないオープンデータの活用への期待が高まっている。本研究では、SDGsの中でも重要な課題である食料の公正かつ効率的な消費に着目し、フードロス回収にDXを応用する。本稿ではフードロスに関し取り組むべき課題の状況、およびフードロスを低減するために利用できる手法の一つとして、近年様々な応用が広がろうとしている巡回セールスマン問題の解法の最新状況について検討する。フードロス問題への適用で、利用できるオープンデータ、利用できるアルゴリズムについて調査し、期待できる効果について考察する。

キーワード: キーワード: 非均一ネットワーク, 接触検出, 感染者数, cocoa

Route optimization in food loss recovery using open data.

Itaru Kaneko¹, Emi Yuda¹ Hitoshi Okada²

Abstract: We are studying food loss reduction using open data. The SDGs are global issues, and even though there are various factors, they are issuing that society should continuously tackle. Maintaining the infection control effect of post-corona behavior change and balancing economic activities have become important issues in the long-term continuation of the corona vortex. On the other hand, with the progress of DX, expectations are rising for the utilization of various open data. In this research, DX is applied to reduce food loss aiming at fair and efficient consumption of food, which is an important issue among SDGs. In this paper, we will examine the status of issues to be addressed regarding food loss, and the latest status of the solution to the traveling salesman problem, whose application is becoming widespread by new techniques in recent years as one of the methods that can be used to reduce food loss. Investigate available open data, available algorithms, and consider expected effects in application to the food loss problem.

1. はじめに

本報告ではオープンデータを用いたフードロス低減への検討について述べる。人類の平均的生活水準は改善し人口爆発も抑制されつつあるが、資源の枯渇や環境への負荷の増大は依然として深刻な問題である。国連サミットは2000年以後開発目標を策定しているが、2015年に加盟国の全会一致で策定されたSDGsでは17の開発目標が合意された[1]。そのなかでもたとえば1 貧困, 2 飢餓, 3 健康と福祉といった開発目標が拡張的目標であると同時に、13 気候変動, 14 海洋資源, 15 陸上の資源, は資源保護, 環境保護の課題であ

り、資源・環境の保護と生活水準の向上の両立が課題となる。我が国においても貧困は決して他人ごとではなく、厚生労働省・国民生活基礎調査(2015)によると、全世帯員の相対的貧困率は15.7%となっており、厚生労働白書(2017)による年齢別の相対的貧困率を見ると、17歳以下の貧困率、および65歳以上(高齢者)の貧困率が高い数値となっており、食の格差が指摘されている[2]。SDGsではこのような問題を解消し経済発展を維持しつつ、同時に資源、環境の保護を両立する必要がある。

そして2020年以後、世界は新型コロナウイルス感染症にたちむかう中でも、様々な社会変容が

¹ 東北大学データ駆動科学・AI 教育研究センター, Center for Data-driven Science and Artificial Intelligence Tohoku University

² 国立情報学研究所 情報社会相関研究系

おこなっている。

そこで注目されるのがフードロスの削減である。日経新聞はフードロス削減への自治体と事業者の連携が増えていることを報じた[3]。食品廃棄物は増加しており、農林水産省資料によると、廃棄物処理法における食品廃棄物は食品関連事業者 752 万トン（内可食部分量 328 万トン）、一般家庭 783 万トン（内可食部分量 284 万トン）となっており、食品廃棄物は合計で 1,535 万トン、食品ロスは 612 万トンとなっている(2020)[4]。従って、フードロスを削減するための取り組みは今後も拡大すると考えられる。フードロスを削減すれば環境負荷を下げつつ生活水準を向上し、また、新しい生活様式で生じた飲食産業の歪を緩和することにもつながるからだ。

本発表と同時にを行った別発表において、フードロス削減に関する研究、再配分に関する研究(巡回セールスマン問題としての形式化)、朝食欠食と学力に関する研究について調査しているので合わせて参照されたい[5]。

本報告では主にフードロス削減にオープンデータを利用する方法を検討し、オープンデータの可用性や改善可能性、フードロス回収への応用の実現性、巡回セールスマン問題の解法ツールの適用方法などについて確認、報告する。

2. 本研究の課題と目的

まず食品産業全体のエコシステムを考えた場合、一律に部分最適なフードロス回収だけを進めることは、必ずしも望ましい効果のみをもたらすとは限らない、という疑問は当然あるだろう。しかし、産業全体のバランスを配慮しながら、必要かつ有益な場合にフードロス回収を手段として提供することは当然有益である。産業全体のそのようなバランスを取ることは業界全体が取り組むべき課題であるからその問題は本研究とは切り離し、本研究ではそのようなバランスは別途と取られているという前提のものに、本手法を手段として利用した場合の実用性を検証することを目的とする。

フードロス回収のためには様々なオープンデータの活用が可能であると考えられる。そこで本研究ではオープンデータを活用し、フードロス回収における経路最適化に巡回セールスマン問題の解法を応用することを検討し、オープンデータの活用、巡回セールスマン問題の解法ツールの可用性などについて検証する。

オープンデータと巡回セールスマン問題の解法ツールを用いると、比較的簡単にフードロス低減のための一方法である廃棄食料の再利用のた

めの経路最適化を図ることができると考えられるが、その実現性を実証することが第一の目的である。これを多くの他手法と組み合わせることでフードロス低減を一部低減できると考えられる。

次に実際にこれを実行してみることで、現在提供されているオープンデータの可用性について検証できるはずである。また改良すべき点もみつかるとは考えられる。また現状のオープンデータでどの程度の最適化が可能であるかといったことも評価できる。これらを明らかにすることも本研究の目的である。

最後に提供されるオープンデータの形式や内容に改善すべき点がないか。フードロス問題への適用からオープンデータの改善への提言を行うことも目的とする。

3. 利用可能なオープンデータ

今回オープンデータを用いて売れ残り食材の回収と配布を行うシステムをアドホックに効果的に構築しうるシステムである。

このようなシステムの構築には、食材の回収を行う巡回ルート、および、食材の配布を行う巡回ルートの策定が必要である。そのためには巡回ルートで巡回すべき地点のオープンデータがまず必要となる。

食材の回収はコンビニから行うことを想定すると、巡回ルートを作成するためには食材回収場所であるコンビニの位置情報が必要となる。

コンビニの所在地は NAVITIME のジャンル検索で取得できる。NAVITIME のジャンル検索は商業施設などを、ジャンルを指定して検索できる機能である[6]。NAVITIME によるコンビニ所在地の取得方法を図 1 に示す。

```
url =  
'https://www.navitime.co.jp/category/sssss/cc'
```

図 1 NAVITIME による住所取得

この機能は Web アクセスをクエリとして実行している。ここで ssss は店舗の id でありセブンイレブンなら 0201001001 という id を指定する。また cc は都市の id であり東京都ならば id は 13 である。NAVITIME はこのクエリにより指定された都市の店舗一覧とその住所を提供する。

ここで得られるのは通常の住所をテキスト形式であらわしたテキストデータである。この住所のテキストデータのままで巡回経路探索には適さない。そこで住所のテキストデータを位置情

報に変換する必要がある。

この変換には google の api サービスの中の geocoding を利用できる[7] .

図 2 に geocoding を利用した変換方法を示す。

```
gmaps = googlemaps.Client(key=googleapikey)
result = gmaps.geocode([csvRows])
```

図 2 geocoding による住所座標変換

この csvRows は NAVITIME で取得した住所を表す文字列である。Result として座標値が得られる。

次に、配布順路の最適化においてはコミュニティセンターなどの配布場所として利用可能な公共施設の位置情報が必要となる。

たとえば仙台市を例にとると、図 3 のようにオープンデータカタログとして仙台市のオープンデータが公開されて、検索することができる[8] .

ここから仙台市が管理する公共施設の情報を得ることができるが、その中で表 1 に示す施設が配布場所の候補となりうる。オープンデータ中ではこれらの施設の一覧が csv 形式で得られ、各施設の位置情報も得られる。ただしここで得られる位置情報も住所形式であるため、NAVITIME で取得したコンビニエンスストアの住所情報同様、google の geocoding API を用いて座標に変換する。



図 3 仙台市オープンデータカタログ

表 1 配布場所となりうる公共施設

コミュニティセンター、学校、市民センター、認定こども園、幼稚園、福祉プラザ、自動擁護施設、コミュニティ防災センター

これらの API やデータベースを利用した位置情報取得は Python ライブラリで自動化することが可能である。

このように、収集場所であるコンビニエンスストアなどの位置情報と、配布場所であるコミュニティセンターなどの位置情報を取得可能であることがわかった。

4. 巡回セールスマン解法の現状

次に余剰食品の収集と配布を、上記で取得した位置情報による巡回路をめぐる巡回セールスマン問題として解くことを考える。

巡回セールスマン問題は、標準的な最適化問題の一つであり、その解法ツールはいくつか整備されている。計算量が多い困難な最適化問題であるが、近年の計算速度の向上により、数十か所程度の順路の問題であれば比較的に実用的な時間で解くことが可能である。

解法ツールとしては Mathworks Inc の MATLAB のライブラリなどで標準的なツールが提供されている[9] . ライブラリ中の Optimization toolbox を見るとその中に、「ソルバーベースの混合整数線形計画法」があり、さらにその中に「巡回セールスマン問題」が解法ツール群の一つとして含まれている。

整数線形計画法は、その名の通り整数の解空間において線形の目的関数の最適化を求める問題である。巡回セールスマン問題の目的関数はあらゆる経路の中で巡回経路を選択する問題であり、N 個の経路中 M 個の経路を選ぶ問題は N 次元のベクトル中 M 個を選択して与えられた条件を最小化する最適化問題と同じであるから、N 次元 2 値の整数線形計画法問題として扱われる。

線形計画法の解法にはソルバーベース、解法ベースのアプローチがある。

問題ベースのアプローチでは、まず制約条件をたとえば prob1 に設定し、図 4 のステートメントで問題を設定する。

```
[sol,fval] = solve(prob1);
```

図 4 MATLAB solver による問題設定

```
[x,fval] = intlinprog(f,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub);
```

図 5 MATLAB solve により問題を解くステートメント

prob1 は問題を設定するオブジェクトで、属性として目的関数などを持っている。ソルバーベースのアプローチではこのような問

題を定式化したあと図 5 のようなステートメントで問題を解く。

f はコスト関数, $intcon$ は整数値のとりうる値, A, b は不等式制約である。

Mathworks の線形計画法問題のソルバーは `intlinprog` が整数線形計画法のソルバーであり, `linprog` が整数ではない線形計画法のソルバー, つまり非整数解を含む場合のソルバーである。巡回セールスマン問題はしたがって `intlinprog` を適用する。

問題ベース, ソルバーベースの違いはややあいまいだ。問題を与えるデータ形式だけの問題(問題ベースはクラスとして, ソルバーベースはデータとして与える)というだけの違いにも見える。

実際にこのツールを使って巡回セールスマン問題を解くのにどの程度の計算資源が必要だろうか。ポイント数 200 程度で実行してみた結果を以下に示す。結論としてこれらの solver によって妥当な最適解がほぼ瞬時に得られる。

まず 200 点のデータをテストデータとして作成したものを図 6 に示す。

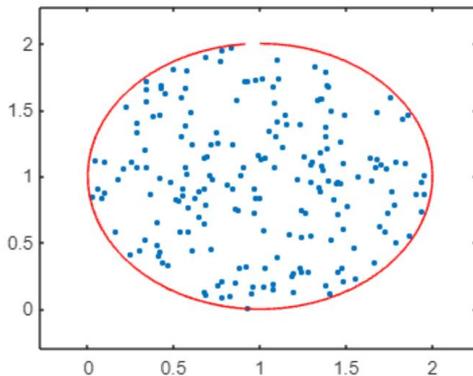


図 6 200 ポイントの問題例

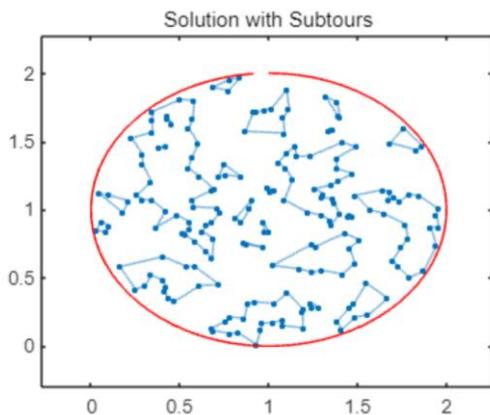


図 7 Subtours による解

標準的な解法では, まず図 7 に示すように, Subtours の集合からなる中間的な解をもとめる。Subtours は点の部分集合を周回する順路の集合で Subtours 自体はばらばらであるからこれだけでは巡回経路とはならない。

しかしこれらをつなぎ合わせれば一巡する経路が作れるわけである。標準解法ではこれを段階的に行っていく。そしてこれらを結合することで一筆書き状態の解をもとめる。得られた巡回順路を図 8 に示す。

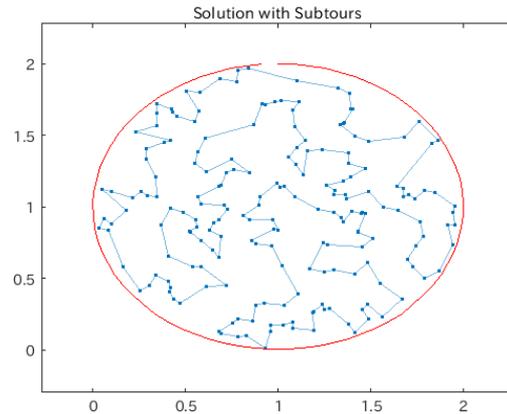


図 8 得られた巡回順路

巡回セールスマン問題は, Matlab 以外にも Python ライブラリでも標準的な解法ツールが利用できる。

Python では PuLP を用いて解を求めることができる。PuLP の場合, 図 9 のような形式で問題が最大化問題か最小化問題かを指定し, 変数の域値を指定し, 問題設定を行う。そして図 10 のように solve メソッドで解を求める。

```
m = LpProblem(sense=LpMaximize)
x = LpVariable('x', lowBound=0)
m += ...
m += ...
m += ...
```

図 9 Python PuLP の問題設定

```
m.solve()
```

図 10 Python PuLP により問題を解く

5. 今後の課題

今後具体的に一地域の地図情報を用いてこのような手法による巡回経路が策定できるかを検証する予定である。

以下のような処理を行い、結果を検証する。

- (1) コンビニエンスストアの位置情報の取得
- (2) 公共施設などの位置情報の取得
- (3) 巡回セールスマン問題の解法の適用
- (4) 結果の表示

6. 考察

オープンデータを活用したフードロス回収における経路最適化について検討を行った。オープンデータの可用性についてはこの課題についてはコンビニエンスストアの位置情報、仙台市の公共施設の位置情報はともに利用可能で、また有用性も高いことが確認できた。このようなタスクを実行するために利用しやすい状況にあると考えられる。

しかし、仙台市のオープンデータは現在人間が読み取りに適した形式でのみ提供されており、今回のような最適化までを自動化して利用する場合には、機械処理するためには最適な方法ではない。特にスキーマなどの定義が一定していないから、今後運用を続けるうちにこれまでの処理に合致しないデータが作られてそのつどシステムの改修が必要になってしまう、ということが考えられる。

行政のデジタル化においては、処理の自動化が可能で、かつそこでデータ形式の不整合などによる動作不良の可能性を小さくする必要がある。そのためには、オープンデータの形式を完全に不整合なく機械処理可能な形で整えることが重要である。そのためにはスキーマ定義やデータ形式の厳格化をしっかりと行っておくことが重要であると思われる。

フードロス回収への応用の妥当性については、実際にこのようなシステムが効率的に機能するかについて、今回行った以外にいくつか検討すべき点がある。検討すべき点を以下にあげる。

(1) サプライチェーンへの影響

フードロスの低減は、食品の無償提供が流通網に与える影響は未知数である。本サービスを長期間に提供する場合にどのような影響が予想されるかは、たとえば行動経済学的観点からも検討が必要だろう。

(2) 実データによる検証

今回は巡回経路の最適化が可能であるか、のみを検証した。しかし配布先で余ってしまったのは本末転倒であるから、フードロス削減にも需要にあった供給が重要である。いや、フードロス削減こ

そ、そのサービスが過剰に提供されてはかえってフードロスの増加につながる可能性もある。

理想的には、フードロスの消費は常に需要が十分あり配布された食品はすべて引き取られる、という状況で運用されることが望ましいかもしれない。いずれにしても実際のフードロスの発生や、配布された食品の需要を含めたシミュレーションが必要であろう。

(3) 実運用が最適化されているかの検証

今回巡回経路を机上で最適化したが、これが実際のオペレーションにおけるドライバーなどの負荷軽減になっているかという点も検証が必要である。

(1), (2) については最初に述べたように食品業界全体のバランスの問題であると考えられる。そのような条件は日々変化するので、一般的な解を求めることはできないし、今回の研究の対象からは分けるべき課題であると考えられる。

一方 (3) についてはサンプルとする経路についてある程度検証することが可能である。

今後は以上のような検討をもとに残された課題についても検証を続けていく予定である。

7. まとめ

廃棄食材の再利用フードロスという課題のため、本報告ではオープンデータを用いたフードロス低減手法について検討について述べた。まずSDGsの観点からフードロス低減の意義について論じた。次にフードロス低減のための廃棄食材の収集配布を行う場合の収集、配布の経路について検討した。そのような経路の最適化に、現在利用しているオープンデータが十分利用できることを確認した。また巡回経路の最適化に標準的な経路最適化ツールを適用可能であることを示が利用できそうであることを確認した。現在の最適化ツールは今回検証した程度の最適化問題には十分手軽に利用することが可能であることを確認した。最後に、今後検証すべき課題をまとめた。

オープンデータを活用したフードロス回収における経路最適化は、現在提供されているオープンデータを活用し十分実用的に実現できると考えられる。SDGsに向けた資源の有効活用と貧困をはじめとする生活水準の向上という課題を両立させるツールの一つとして有効な手法であることが確認できた。

謝辞: 本研究は 2022 年度 国立情報学研究所 公募型共同研究（戦略研究公募型研究）の助成を受けて実施した。

参考文献:

- [1] 外務省, SDGs とは?,
<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html> (2022/5/10 取得)
- [2] 厚生労働省 白書・年次報告書
https://www.mhlw.go.jp/toukei_hakusho/hakusho/index.html (2022/5/10 取得)
- [3] 日経新聞, 「フードロス」削減、自治体と事業者の連携進む, 日経電子版 2022/1/12,
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC056MF0V00C22A1000000> (2022/5/10 取得)
- [4] 農林水産省 食品リサイクル・食品ロス
https://www.maff.go.jp/j/shokusan/recycle/syoku_loss/161227_4.html (2022/5/10 取得)
- [5] 湯田 恵美, 金子 格, 岡田 仁志, フードロス再配分の重要性: 朝食と学力・集中力の関連性に着目して, 情報処理学会研究報告, EIP-93(掲載予定), (2022)
- [6] NAVITIME, ジャンルから探す, NAVITIME,
<https://www.navitime.co.jp/category/>, (2022/5/10 取得)
- [7] Google, Geocoding API version 1.2,
<https://www.geocoding.jp/api/> (2022/5/10 取得)
- [8] 仙台市, オープンデータカタログ, 仙台市,
<http://www.city.sendai.jp/opendata/index.php>
(2022/5/10 取得)
- [9] Mathworks, MATLAB ドキュメント,
<https://jp.mathworks.com/help/>, (2022/5/10 取得)