静脈物流に対応した配送計画シミュレータの開発

第１事業部
IT統合サービスセンター
技術サービスチーム
ITスペシャリスト

高雄　保嘉

Yasuyoshi　Takao
yasuyoshi-takao@exa-corp.co.jp

環境問題への配慮から、国内輸送の大半を担うトラック物流においては、効率的な配送計画における燃料消費量の削減や、増加する静脈物流（使用済み製品の回収・再資源化を目的とする物流）への積極的な関与が求められている。

トラック物流は、大規模化、複雑化する傾向にあり、配送計画を、オペレーションズリサーチの手法によって自動作成する配送計画シミュレータの活用が進んでいるが、従来のシステムでは、積みと卸しが混在する配送パターンに対する有効な最適化手法が無い事から、静脈物流への対応が困難であった。そのため、静脈物流に対応可能な配送計画シミュレータを開発した。

本論文では、開発において発生した技術的な課題と、課題の解決策であるシミュレーテッドアニーリング法ベースの最適化手法や地点間所要時間の高速計算方法について述べる。

1. はじめに

昨今、環境問題への取り組みの必要性が世界的に認識されるようになっており、国内輸送の大半を担うトラック物流においても、効率的な配送計画のもとで無駄な走行を抑制する事による燃料消費量の削減が求められている。

特に、環境保護および資源の有効利用の観点から、使用済み製品の回収・再資源化を目的とする静脈物流が年々増加してきており、これを考慮した配送計画の最適化が注目されている。

配送計画の作成には、計算機による配送計画シミュレータの活用が一般的になりつつある。これは動脈物流と呼ばれる、新商品の配送に代表される積みと卸しの単純な組合せを対象にしたものである。しかし、配送経路上の積みと卸しの混在が顕著になり複雑化する静脈物流には、計算モデルが対応できず、かつ実用的な計算時間が得られないという課題があり、そのまま適用する事は困難である。

本論文では、この課題を解決するため、シミュレーテッドアニーリング法（SA法）ベースの最適化手法に着目し、これに地点間所要時間の高速計算方法を組み入れ、静脈物流に対応できる独自の[1)] 配送計画シミュレータを開発した。続く次章で配送シミュレータに関する概要を紹介し、第３章で静脈物流の課題を明らかにする。さらに、第４、５章で課題解決に適用した方法について論じる。最後に第６章で本論文の議論をまとめる。

2. 配送計画シミュレータについて

トラックによる物流を考えよう。運搬する貨物は複数あり、各貨物の重量・容積、積み込み地点や納入地点は様々である。利用可能なトラックも複数あり、最大積載量などの条件は様々である。図１の①では、トラックＡに貨物１、貨物３を割り振り、トラックＢに貨物２を割り振っている。さらに②は、そのトラックＡ、Ｂが巡回し、貨物の積み卸しをする経路を表している。物流の規模（貨物の数、トラック台数）が大きくなれば、貨物の割り振りや、トラックの経路の選択の可能性は、天文学的な数となる。膨大な可能性に対し、「どのトラックにどの荷を割り振り、さらに、各トラックがどのような経路で各地点を巡回すれば最良であろうか？」という問題を配送計画問題という。

配送計画シミュレータは、配送計画問題を解決する１つの手法である。それは計算機の中で実際に配送計画を作成し、その良し悪しを評価して好ましいものを残す。そして、そのサイクルを多数回繰り返す事で最適な計画を求めるシステムである。

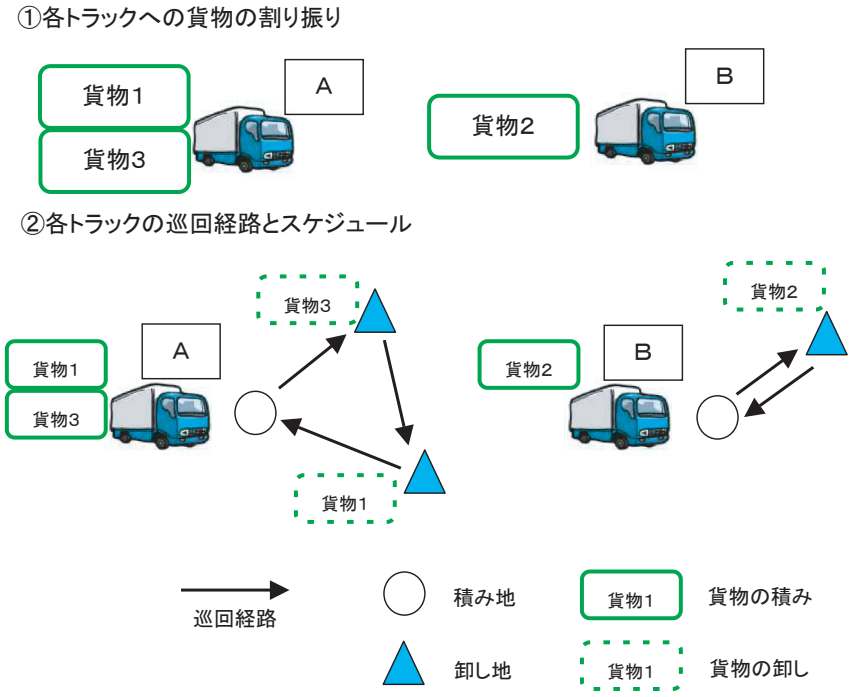

図１　配送計画問題とは？

2.1. 配送シミュレータの最適化問題

配送計画問題については、数理計画法の代表的な応用問題として、1960年頃から現在に至るまで数多くの研究が行われ、膨大な数の研究論文が存在している[2)]。研究が一向に収束しない大きな原因は、この問題が持つ「NP(Non-deterministic Polynomial-time)困難性」という性質である。それは、貨物の総数が増えると、この問題を解くために必要な時間は指数関数的に増える事を意味しており、たとえどんなに高速な計算機を使用しても厳密な最適解を得る事が実質上不可能である。すなわち最適解を見つける特効薬が存在しないのである。

そのため、商業的に求められる規模の問題については、できるだけ最適解に近い答えを見つけるというのが取り得る唯一の道となる。その手段は、結局、様々なタイプの問題をいくつかのパターンに分類し、各分類に対して有効な方法を根気良く見つけ出す事である。一口に配送計画問題といっても、その適用対象によって全くアプローチが異なってくるのが普通である。例えば、貨物の数が多いか、少ないか、巡回地点は広く分布しているか、狭い領域にまとまっているか、納期の制約が厳しいか、緩いかなど、多数のバリエーションを取る。

2.2. 実務適用上の問題点

実務への適用上で問題になるのは、そもそも「最適な配送計画」とは何かという事である。

例えば、荷主にとっては、運賃が安い事、納期が守れる事、輸送の品質が保てる事などが重要である。運送業者にとっては、仕事量が安定している事、トラックの稼働率が高く、また燃料費が抑えられる事などが重要となる。また、運転手にとっては、労働負荷が安定している事、収入が安定している事などが重要となる。また、環境面から見れば、総排ガス放出量が小さい事などが重要である。これらの条件は、互いに相反する事がある。どこかにしわ寄せが行くと、結局使い続ける事が困難になる。したがって、うまくバランスを取り、偏りが少ない事が必要であるが、この調節が、一般に難しい作業となる。

また、実用に耐えるシステムとするためには、配送計画にお客様固有の条件設定を数多く組み込む必要がある。例えば、商慣習に基づく制限、納入先固有の特殊な納入形態、トラック運転手の得意・不得意等である。配送計画に携わる専門家は、このような細かい配慮を常時行い、計画を組んでいる。これらは即、シミュレーション時に設定する制約条件に結びつく。全ては無理でも、優先順位を付けて出来る限り組み入れる必要がある。そうでなければ、使い勝手の悪いシステムとなる。したがって、システムには、条件の組み込みに対する柔軟性が要求される。本論文では、この件については踏み込まないが、実際にはその解決がたいへん難しく重要であるという事を付記しておく。

3. 静脈物流への対応

製造業であるお客様（A社と呼ぶ）向けに開発した配送計画シミュレータにおいて、最も特徴的であったのは、静脈物流への対応を求められた事である。

A社は、ある製品の製造販売を行っている。この製品の流通においては、工場で製造した新品の流通とともに、リサイクル品の流通が広く行われている。すなわち、使用済み製品の再生のための流通､再生品の流通､さらにスクラップに回すための流通である。新品の輸送を動脈物流、リサイクルを目的とする流通を静脈物流と捉える事ができる。本システムにおいては、動脈物流への対応は当然の事として、静脈物流への対応も可能なシステムである事が要求された。

静脈物流への対応を検討した結果、技術的に２つの課題の解決が必要である事がわかった。次にその課題を示す。

（課題１）静脈物流に対応した最適化手法

前述のように配送計画問題の解法に関して多くの研究成果が公表されているが、そのほとんどが、１ヶ所の拠点で全ての貨物を積み込み、それを卸す地点を巡回するというパターンが対象である（図２の左側の図）。

ところが、静脈物流を考えた場合、このような単純な輸送形態は一般に成立しない。例えば、再生用途であれば、過去に取引の無い顧客から注文が入り、使用済み品を、指定された使用場所から、再生工場に運ぶというようなケースに対応する必要がある。また、この場合、注文が少量である場合が多く、他の注文の貨物と積み合わせて運搬しなければ、効率が悪い（図２の右側の図）。すなわち、巡回経路上に、積み地点と卸し地点が混在するような場合を許す計画の作成が可能でなくてはならない。

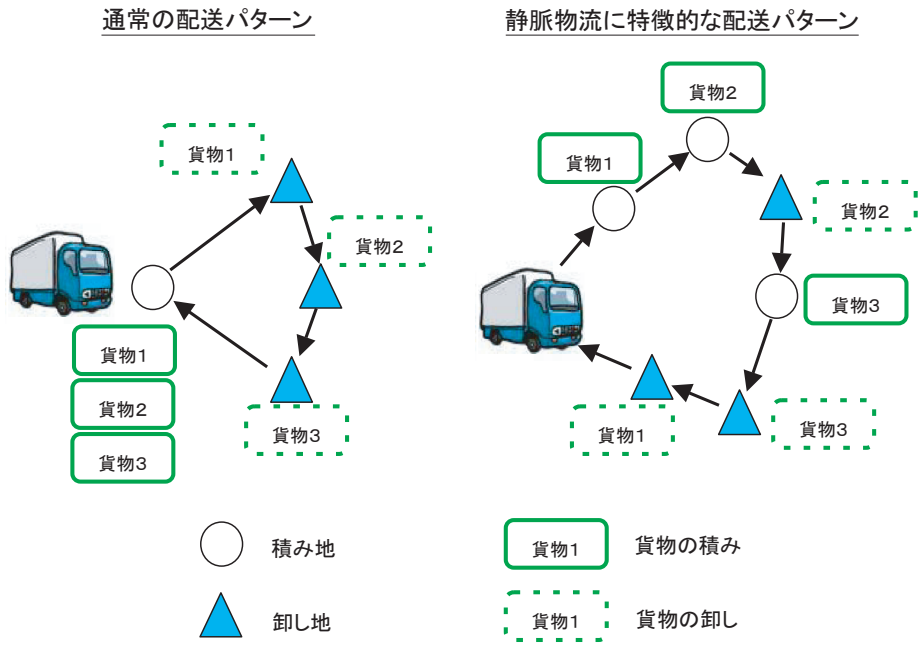

図２　静脈輸送の配送形態の特徴

（課題２）地点間の所要時間計算

前述のように、静脈物流では、不特定多数の顧客が対象となる。このような場合、シミュレーションを行うにあたって、実用上問題になる事項がある。それは、地点間の所要時間計算である。

配送計画シミュレータは、計算機の中で実際に配送計画を作り、スケジュールを厳密に定める必要がある。その際不可欠となるのは、関係する全ての地点間の走行時間である。

全部でN地点があるとした場合に、２地点の組合せの数は、${}_N C_2 \fallingdotseq N^2 / 2$ 程度になる。例えば、オーダ数100とした場合、地点数がそれぞれ積みと卸しの200になり、その組合せの数は20,000程度にもなる。

地点間の所要時間は、一般に、地図ソフトを利用して計算する。この計算は、最短時間の経路を探索するという計算負荷の高い処理を含んでおり、地点が遠くなると秒単位の計算時間を必要とする。これは、我々がカーナビゲーションシステムの経路探索を使用すると、しばしば経験する事である。

ところが、数万規模の計算には、一般に数時間という時間を要する。静脈輸送に対応したシミュレーションの性格上、オーダの追加変更が多く発生し、また迅速性を要する場面で使用される場合も多いので、このような計算時間は致命的な欠点となる。

4. 静脈物流に対応した最適化手法

本章では、静脈物流を含む配送計画シミュレータに適した最適化手法の開発の経緯と、その内容について述べる。

4.1. 最適化アルゴリズムの開発

２章で述べたように、配送計画問題の解決には、個々の問題設定に適した最適化手法を見いだす必要がある。本システムの場合、次の要件を満足する事が要請された。ここで、要件１が静脈物流特有の配送パターン対応として新たに加わった要件である。また、要件5から、地点間所要時間計算にかかる時間の大幅短縮が要請された。

（要件１）巡回ルート上で、積みと卸しの混在が許される事

（要件２）長距離輸送、長期間計画作成に対応するため、日をまたがった計画が立てられる事

（要件３）できるだけ多くの制約条件が取り込める、柔軟なシステムである事

（要件４）オーダの数が100以上のケースに対応できる事

（要件５）数分の計算時間で答えが出る事

以上の要件を考慮し、厳密解法、シミュレーテッドアニーリング法（以後、SA法と呼ぶ）、遺伝的アルゴリズム（以後、GA法と呼ぶ）等の適用テストを行った。その結果、SA法ベースのアルゴリズムであれば、５つの要件を満足させられるという結論を得た。

4.2. SA法について

SA法は、経験的に最適解、または最適解に近い解を導き出せる手法（このような手法を総称して、ヒューリスティック解法と呼ぶ）の一種であり、鉄鋼製造工程等で行われる焼き鈍しにヒントを得て考えられた方法である。

焼き鈍しは、多くのひずみが蓄積して硬化した金属材料を加熱し、それをゆっくり冷却する事でひずみの少ない、より柔軟な材料に変化させる工程である。この過程を、大雑把な見方であるが、次のように解釈する事ができる。

「ひずみによるエネルギーが除去されエネルギーが最低となった状態を最適解と見なす。すると、最適解を求める事は、このエネルギー最低の状態に到達する事に対応する（図３）」。

図３において、左上のエネルギーの高い状態から、矢印のように最適解を探索し、エネルギー最低値Eminを取る最適解に到達できれば目的を達する事ができる。もし、エネルギーが低下している間は探索を続けるという戦略を取ると、図の局所最適解で探索はストップしてしまい、最適解にたどり着く事ができない。

実は、自然界においても、これと類似した事態が起こっていると考えられている。自然界では、この局所最適解のような状況に至った時、熱ゆらぎという現象によって、ある確率でエネルギーの高い方向に状態が変化する事が起こり得るのである。その確率にヒントを得たのが次の式である。SA法では、この式の確率で低いエネルギー（E1）の状態から高いエネルギー（E2）の状態に移る事があるとする。（eは自然対数の底、Tは温度を表す）

$$P(E_1 \to E_2) = e^{-\frac{(E_2 - E_1)}{T}}$$

SA法では、温度Tを最初に高く設定する。この時、上式の確率は大きく、したがって頻繁に局所最適解を抜ける事ができる。しかし、そのままでは、なかなか最適解に近づかないので、温度を徐々に下げていく。すると、エネルギーの低い状態に収束していき、最後には最適解（に近い状態）に至ると考えられている。

4.3. 配送計画の表現方法の工夫

最適化問題を解くにあたっては、使用する最適化アルゴリズムに適合するように、問題をうまく表現する事で良い結果を得られる場合がある。そこで、配送計画の表現に工夫を加えた。

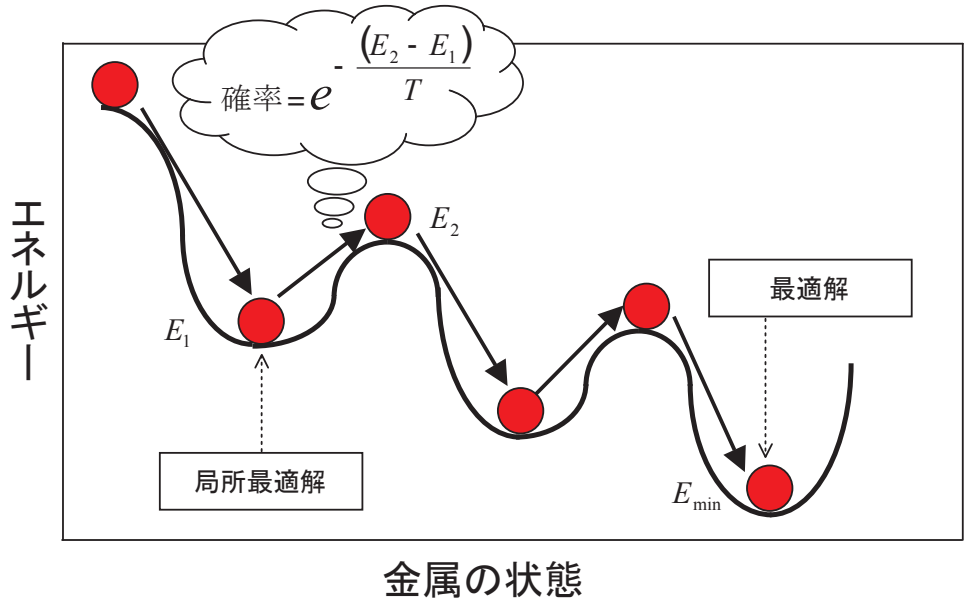

図３　最適解の探索の様子

図４を例に取る。この例の配送計画では、トラック１は、１日目に「貨物１」を積み、２日目に「貨物２」を積み、「貨物２」を卸し、「貨物１」を卸す。トラック２は、２日目に「貨物３」を積み、「貨物４」を積み、「貨物４」を卸し、さらに３日目に「貨物３」を卸す。「貨物５」はトラックが割り当てられていない、いわゆる未割付けの状態にある。

このような計画を下の１次元配列で表現する事にする。この配列で、「Tr」はトラックの区切りを表している。また「D」は、日の区切りを表している。「数字＋」は"数字"の貨物の積み、「数字ー」は"数字"の貨物の卸しである。そして、最右端のトラックは、仮想的なトラックであり、ここにある貨物は、未割付けと見なす約束にする。

このデータ形式では、１次元配列上に多くの情報をまとめる事ができる。

４４. 最適化の手順

最適化の手順は次のようになる（図５）。最初、適当な配送計画Plan-1を作成する（前節の１次元配列の形）。そして、その１次元配列から"エネルギー"E1を計算する。このエネルギーは、好ましい状態（運賃が安い、走行距離が短い　等）が、より低い値を取るように設定する。例えば、運賃そのものをエネルギーとしても良い。最適化は、このエネルギーが最低の状態を探す事であると定義できる。

次に、１次元配列に微修正を加える。具体的には、１つの貨物に対応するデータ、例えば、「1+」と「1-」を配列上の別の位置に移す。この時、移す位置は１次元配列上の一様確率分布（移動可能な全ての場所に同じ確率を付与する）でランダムに決定する。また、「1+」と「1-」が同じトラックにある、「1+」が先で「1-」が後という、当然の原則は守るようにする。微修正を施した後の配列で同じように計算したエネルギーをE2とする。

次に、計画Plan-1とPlan-2のどちらかを採用する。この時、SA法の判定基準を使用する。すなわち、E2がE1より小さい場合は、文句なしにPlan-2を採用する。逆の場合は、4.2節で述べた確率でPlan-2を採用するが、そうでない場合はPlan-1にとどまる。

E2 ＜ E1　⇒　Plan-2を採用

E2 ≧ E1　⇒　確率 $e^{-\frac{(E_2 - E_1)}{T}}$ で、Plan-2を採用

確率 $1 - e^{-\frac{(E_2 - E_1)}{T}}$ で、Plan-1にとどまる

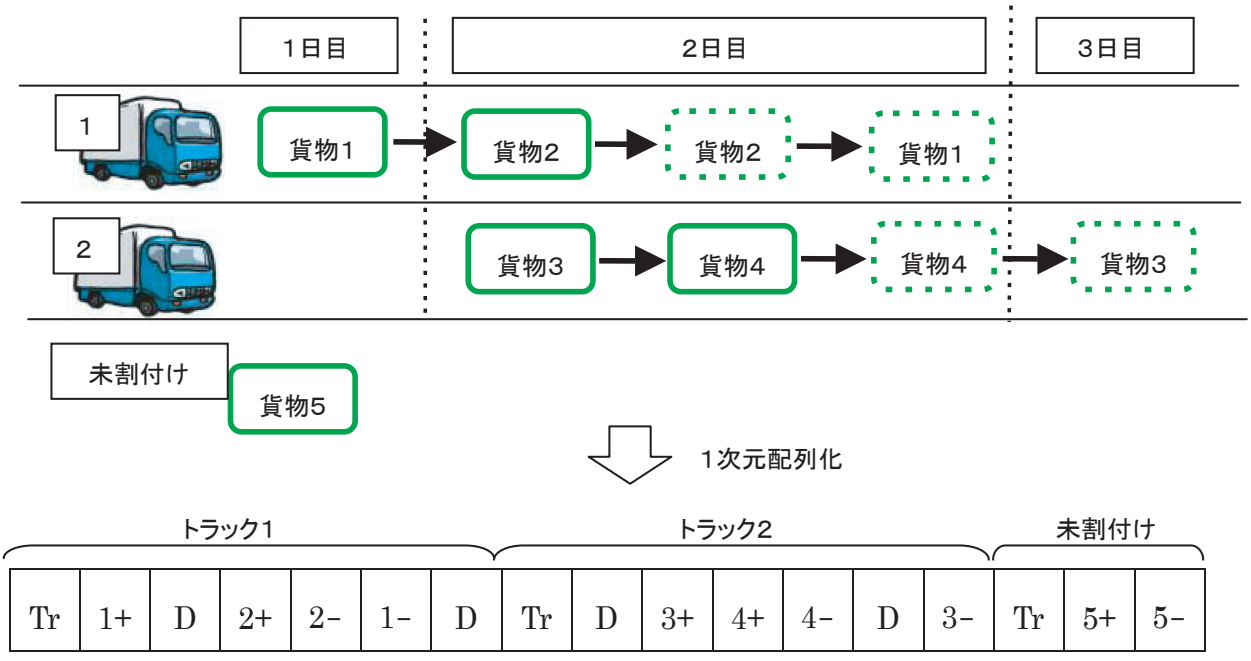

図４　ＳＡ法に適した配車計画の表現

以上の手順を、温度を下げながら非常に多くの回数繰り返す事で、最適解に徐々に近づいていく事ができる。

4.5. 最適化手法の評価

以上のような最適化手法の評価はどのようにすれば良いであろうか。理論的な評価が困難であるのが、ヒューリスティック解法一般の特徴である。そこで、厳密な最適解が判明している問題を解き、結果を比較するのが最も現実的な評価法である。

手法採用の評価は、簡略化した仮想的な問題を作り、それを実際に解く事により行った。

すなわち、N個のオーダを、数量、納入指定時刻、積み込み地点と卸し地点をランダムに与えて作成した（N=10、25、25の３ケース）。また、トラックは全て同一とし、同じ最大積載量を与えた。距離－運賃表を与え、運賃が最小になるよう最適化する設定とした。

表１に、その結果を示す。厳密解を求めるために、次節4.6.（1）の手法を用いたが、N=25（地点数50）の問題の計算にほぼ３日間要した（パソコンCPU：Intel Pentium4 2.0GHz）。指数的に計算時間が増えるので、これ以上のオーダ数は不可能と判断し、評価はそこまでで打ち切った。

表１のように、SA法ベースの手法で、厳密解が得られるか、またはそれにごく近い答えが得られるという結果を得た。計算時間上の制約から目標とするオーダ数より小さい範囲ではあるが、静脈物流に対する配送計画問題の最適化手法として有用である事が確認できた。

表１　各手法の結果比較

上段は運賃の値、下段は厳密解との差（%）

手法＼オーダ数	１０	２０	２５
厳密解法	３６７８．３	６２１９．４	７６４７．５
	－	－	－
SA法	３６７８．３	６２６７．５	７６４７．５
	０．０%	０．７%	０．０%
GA法	３６７８．３	９６３４．５	未実施
	０．０%	５５．０%	－

4.6. その他の最適化手法

最終的にはSA法ベースの最適化手法を採用したが、試みたその他の手法についても簡単に述べる。

（1）厳密解を計算する方法

この配送計画問題はNP困難性を有しているので、ある程度大きな問題に対し、現実的な時間内で厳密解を計算する方法は無いと考えられる。特に、ここで述べたような積み卸しの混在した配送形態に対応できるような研究成果はご

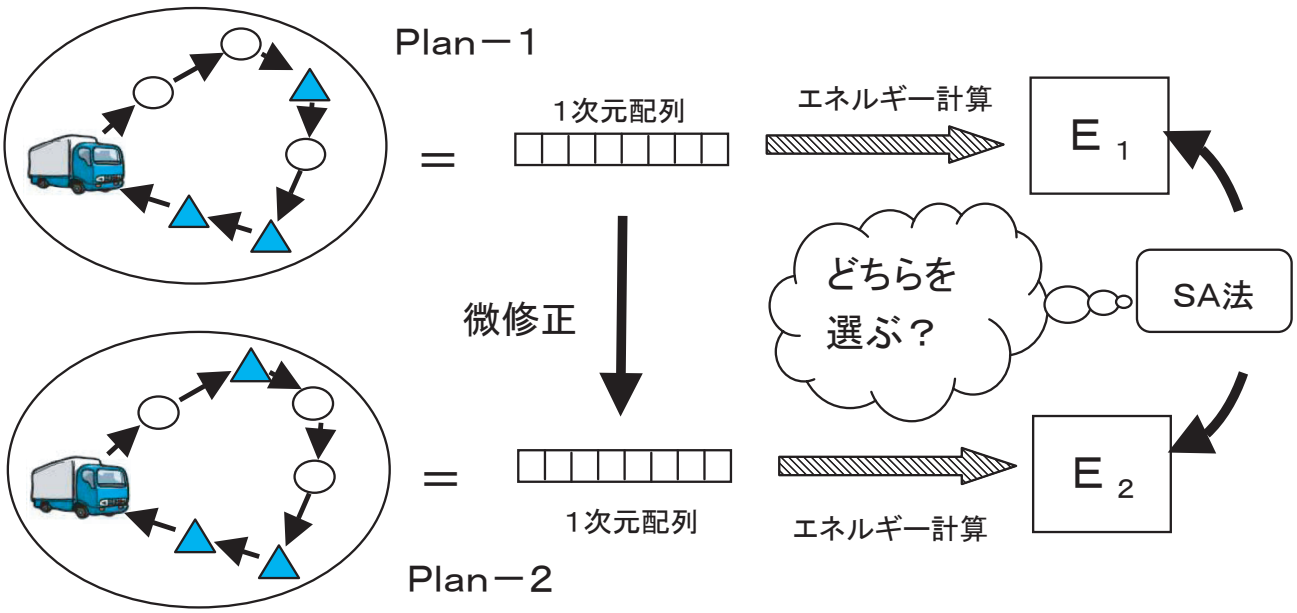

図５　最適化の手順

く少ない。唯一、適用できそうなのが、Dumas , Desrosiers , Soumis(1991)[3]による手法であり、この手法の適用可能性を調査した。

この手法は、Dantzig-Wolfeの分解原理を適用し、配送計画問題を、主問題（全体最適化に対応し、線形計画緩和問題を解く）と、部分問題（個々のトラックの経路に相当し、動的計画法により、最短路問題を解く）に分割する。この際、列生成法を適用する事で、部分問題の計算量を抑えている。

論文では、最大55オーダ（110地点を巡回）までの問題が解かれているが、我々が用意したテストケースでは、25オーダ（50地点を巡回）が、前述のように、計算時間から見て限界であった。これは、論文では、経験的なパラメータを導入して計算量を大幅に減らしているためである。このような簡略化は、結局、最適化に人為的な操作を加える事になるし、また、パラメータの調節を日常業務で行うのは現実的でない。

いずれにしても、商業的に求められる規模の業務への適用は難しいと結論できる。

（2）GA法

GA法を適用するにあたって難しいのが、データの表現方法である。GA法では、「染色体」と呼ばれるデータで対象を表現する。また、染色体を途中で切断し、染色体間で交換する、「交叉」と呼ばれる操作が本質的に重要となる。

配送計画を染色体に表現する場合、もしトラックの巡回地点が貨物の卸しだけであれば、例えばその巡回順そのものを並べて、染色体として使用する方法がある。これはたいへん自然な表現であり、交叉も自然に行えて、良い結果が得られる事がわかっている。しかし、貨物の積みと卸しの両方が経路に入った場合は、より複雑になる。これは、交叉を行った際に、1つの貨物の積みと卸しを同一のトラックが行うという、当然の制約を付ける必要がある事に起因する。

これは可能であるが[4]、その分染色体の構造が複雑になる。このような染色体を使用した場合、我々のテストでは、SA法ベースの手法と比較して悪い結果が出るという結論が得られた（表１を参照）。

5. 所要時間の高速計算方法

３章で述べたように、通常考えられる計算機環境では、静脈物流に対する所要時間計算は、場合によって数時間を要する場合がある。これはシステムの運用において致命的である。本章で述べる方法を適用する事で、この計算を、確実に数秒で完了する事ができる。

5.1. 所要時間計算の方針

地点間の所要時間計算には、大量の時間を要する。そこで、実務上問題無い精度の近似値を高速で計算し使用するという方針が現実的である。所要時間には、交通事情等によるある程度の誤差が含まれると考えて良いため、この仮定は妥当なものと考えられる。

しかし、同時に、所要時間はシミュレーション結果に大きく影響する値であるので、必要な精度の確保は欠かす事ができない。そこで近似値の計算方法の工夫が必要となる。そのため、次のような方針を採用した。

（1）日本中に多数の点(以後、参照点と呼ぶ)を取り、あらかじめ、その参照点間の所要時間を計算し、データベース化する。

（2）参照点の密度が異なる、複数のグループを用意する。例えば、日本全体をカバーするグループ、関東地方や近畿地方をカバーするグループ、東京近郊や大阪近郊をカバーするグループというように輸送が発生すると予想される発着地を含むグループに分ける。

（3）任意の地点間の所要時間を、参照点間の所要時間データベース（発着地を含み、最も参照点の密度が高いものを選択）の値から精度良く近似計算する。

5.2. 地点間距離を考慮した時間計算

参照点の密度を上げる事で、計算の精度は向上する。日本中にごく細かいメッシュサイズ（例えば100mおき）で参照点を取る事ができれば、それを使用すれば、たいへん良い精度で計算できる。しかし、そのデータベース作成にかかる計算時間は天文学的となり、実現不可能である。

そこに、参照点のグループ分けのメリットがある。例えば、10km程度の距離の2地点の所要時間を計算する場合、10分間の誤差は大き過ぎる。しかし、それが300km程度の距離の２地点であれば、許容範囲であろう。すなわち、地点間の距離に応じて、許容される精度が変わる。それは、地点間の距離が長ければ、粗いメッシュでも良いという事を意味している。

計算量の観点からいえば、メッシュサイズの細かさと計算すべき参照点のペアの数は４乗の関係になる（参照点の数が２乗、ペアの数が２乗で、合わせて４乗）。例えば、メッシュのサイズを半分に細かくすると、計算量（時間）は24＝16倍にも増える。したがって、メッシュを粗くする事で、計算量を劇的に減らす事ができる。

例えば、東京のある地点から、名古屋のある地点までの所要時間を計算するには、粗いメッシュを使用する。東京から神奈川までは中位のメッシュ。東京近郊であれば細かいメッシュとデータベースを使い分ける事で、精度とデータベースの作成時間という２つの問題を解決する事ができる。

5.3. 計算手法の工夫

参照点間の所要時間のデータベースを使用して任意の点の間の所要時間を計算する場合、１つの手段は、最も近い参照点を探し、その所要時間で代用するという方法である。図６は、２地点P1とP2の間の所要時間を計算する場合を示している。P1とP2のすぐ周りには、それぞれQ1～Q4、R1～R4という参照点があるとする。P1に最も近い点がQ2、P2に最も近い点がR3とすると、Q2→R3の所要時間を使用するという事である。しかし、この方法には、次の２つの欠点がある。

(1) メッシュのサイズ程度の誤差が入る
(2) 参照点の取り方に依存して、精度のムラができる。すなわち、偶然に、参照点に近い点であった場合は精度が良くなり、反対に遠い点であった場合は精度が悪い。

この欠点に対処するため、１つの参照点だけではなく、周囲にある複数の参照点から得られるより多くの情報を有益に活用する事が良いであろう。

数学的には、重回帰分析による予測手法が使用できる。P1、P2を２次元平面上の点と考え、それぞれの座標を(x1,y1)、(x2,y2)とおく。この時、P1→P2の所要時間（Tm(P1,P2)と表現する）は、次のように、x1,y1,x2,y2の４変数の関数と考える事ができる。

$$Tm(P1,P2) = f(x1,y1,x2,y2)$$

そして、図６の場合でいえば、Tm(Qi,Rj)　(i = 1～4、j = 1～4）の値はデータベースから検索でき、既知の値である。この既知の値から４変数関数 f(x1,y1,x2,y2)の関数形を統計的に予測する方法が、重回帰分析である。その予測関数形より、P1→P2の所要時間を得る事ができる。

この方法の適用例として、関東１都６県の都・県庁間の所要時間を計算した結果を示す。

表２は、都・県庁における全ての組合せの間の所要時間について、正確な値との誤差を、重回帰分析による予測手法と、最初に述べた、最も近い参照点を使用する方法で比較した値である。（５kmのメッシュを使用。重回帰分析の参照点数は周囲４点とした。）。

表２　重回帰分析による予測手法の誤差
（関東地方の都・県庁間所要時間）

	誤差の平均値（分）	誤差の標準偏差（分）
重回帰分析による予測手法	２．９６	２．０３
最も近い参照点を使う手法	４．４８	３．４３

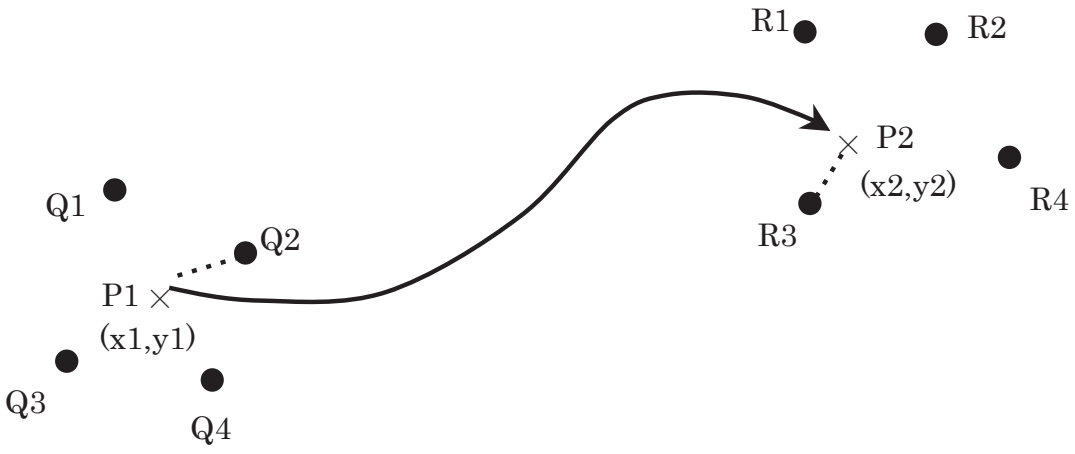

図６　２地点Ｐ１，Ｐ２と周囲の参照点

このように、重回帰分析による予測手法には、次のような特徴が見られる。

（1）実際の値に、より近い計算値を得る事ができる。

（2）実際の値との違いのばらつき（標準偏差）が、より小さい。

（1）は、周囲の点から得られる、より多くの情報を利用した事による効果と考えられる。また、（2）は、P1やP2と参照点の位置関係の偶然性の要因を排除できたためと考えられる。

この事により、この手法は、より実際の値に近く、安定した近似値を与える、優れた方法である事がわかる。

6. おわりに

本論文では、静脈輸送に対応した配送計画シミュレータ開発において発生した技術的問題とその解決方法を中心として、物流分野における最適化システム活用の事例について述べた。

昨今、環境問題への取り組みの必要性が世界的に認識されるようになった。国内輸送の大半を担うトラック物流においては、効率的な配送計画のもとで無駄な走行を抑制する事による燃料消費量の削減、また、増加する静脈物流への積極的な関与が求められるようになるであろう。本システムは、そのような要請に応えるものと確信している。

従来、配送計画は、高度なスキルを持った専門の担当者によって手作業で作成されてきた。しかし、今後の物流においては、企業間の共同配送などにより規模が拡大し、また、環境問題、コンプライアンスへの対応などの社会的要請によって一段と複雑な制約条件を考慮する必要が発生すると考えられる。その場合、手作業での対応は、困難さを増すであろう。

一方で、急速な、計算機能力の向上、情報工学の進歩により、数理的な手法によって分析や意思決定を支援するオペレーションズリサーチという技術が発展を遂げている（本論文で紹介した手法も、その一形態である）。この技術の適用が、困難に対応するための１つの鍵になるのではないだろうか。ただし、本論文で述べたように、厳密な最適解計算の特効薬が無い事や、専門家が行う細かい配慮の組み込みが難しいという問題は残っている。我々は、このような問題に粘り強く取り組んでいく必要がある。

当社では、オペレーションズリサーチから生まれた技術を、配送計画のみならず、複雑化する物流の世界に積極的に導入する支援を行いたいと考えている。

参考文献

1) 特許第3890506号「配送計画作成方法、配送計画作成装置、配送計画作成プログラムおよび物流システム」

2) 久保幹雄、田村明久、松井知己．"応用数理計画ハンドブック"．第16章

3) Dumas,Y. & Desrosiers,J. & Soumis,F. "The pickup and delivery problem with time windows." European Journal of Operational Research, Vol.54, P.7-22 (1991).

4) 仙石浩明、吉原郁夫．"GAによるヒューリスティック探索の最適化"．情報処理学会論文誌．No.10 Vol.37, p.1811-1820(1996).