

グリッド技術を用いたサプライ・チェーン最適化システム

久保 幹雄, 藤澤 克樹

1. はじめに

最適化問題を解くための試みは、最適化の専門家だけでなく幅広い分野の研究者や実務家によって行われるようになってきています。例えば、最新の並列計算技術を用いて大規模な組合せ最適化問題を解くといった試みがいくつか行われていますが、こうした取り組みに関しては、むしろ OR 以外の専門家の方が精力的に取り組んでいる印象を受けます。

近年の計算機や通信技術の急速な進歩によって、工学や理学などの多くの分野で大規模な数値計算が行われていることはよく知られていますが、最適化問題の分野においても、この数年で想定する問題の規模、適用する手法、実問題への適用可能性などの考え方に大きな変化が生じています。本稿ではその一例としてサプライ・チェーン最適化問題を取り上げて解説していきます。

最近ではサプライ・チェーンに対する研究がさかんになってきましたが、実務と理論にはまだ大きなギャップがあります。このギャップを埋めるために、研究者側からできることは、旧来の理論的な研究対象であった古典モデルを、より実務に直結するように拡張すること、拡張されたモデルに対してアルゴリズム（解決法）を導き出すこと、さらにこれらのアルゴリズムを組み込んだ意思決定支援システムを構築することであると考えられます。

我々が開発したサプライ・チェーン最適化のための意思決定支援システムとしては、在庫方策最適化、安全在庫配置、配送計画、ロジスティクス・ネットワーク設計、収益管理、需要予測、ロットサイズ決定、スケジューリングなどがあります。これらの意思決定支

援システムは、すべて Web アプリケーションであり、インターネット経由で使用することができます。

本稿では、これらの意思決定支援システムの概要（特にモデルについて）と各システム間の関係（情報のやりとり）について解説します。また最適化問題を実用的な時間で解くためには多くの計算機資源が必要になってきますので、クラスタ計算（Cluster Computing）とグリッド計算（Grid Computing）などの最近注目を集めている並列計算の手法も必要となってきます。そのため、これらの最新技術をどのように Web アプリケーションに組み込んでいくかについても解説します。本稿の内容の詳細については文献 [2~4] も参考にして下さい。

2. モデルについて

情報技術（Information Technology: IT）というと、インターネットでパソコンの発注ができたり、携帯電話をかざすだけで自販機からジュースが買えたりすることを思い浮かべるでしょう。実は、これらのことは IT の一方の側面だけをみたものなのです。企業体における IT の利用法は、大きく分けて处理的 IT

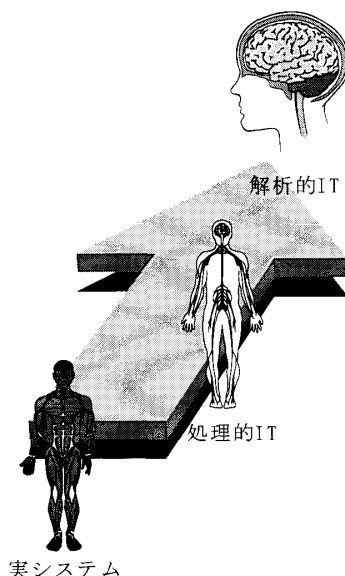


図1 実システム、处理的IT、解析的IT

くぼ みきお

東京海洋大学 流通情報工学科

〒135-8533 江東区越中島 2-1-6

ふじさわ かつき

東京電機大学 理工学部数理科学科

〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂

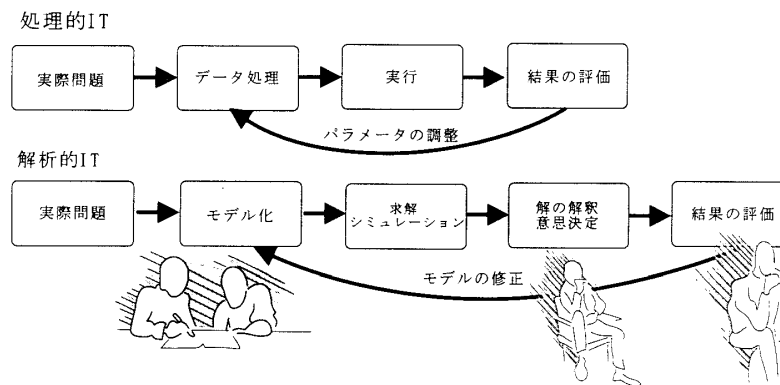


図2 处理的ITと解析的ITにおける処理手順

と解析的ITに分類されます(図1)。

处理的ITとしては、販売時点管理(POS: Point-Of-Sales)システムや企業体資源管理(ERP: Enterprise Resource Planning)ソフトウェアに代表されるような、情報の自動処理を行うシステムがあげられます。これらのシステムは、エンドユーザが直接データ入力などの処理を行うため、直感的に使いやすく、内容についても分かりやすいシステムになっています。

人間に例えると、处理的ITは神経網みたいなものです。神経網があると指先に何が触れたか分かりますが、神経網だけでできる処理は、膝をトンカチで叩くと足がピクリと反応するなどの反射的な処理に限定されます。これは、企業体においては、POSレジなどから需要の情報は得ることができても、それだけではせいぜい売れ線の商品をみつけること程度であることに相当します。

一方、解析的ITは意思決定を支援するために用いられます。处理的ITを人間の神経網に例えるなら、解析的ITは人間の頭脳に当たります。頭脳は、神経網によって集められた情報を分析し、それを活用して意思決定を行います。例えば、POSレジ経由で集められた商品の需要は、予測システムによって将来の需要予測に変換され、生産計画システムによって工場内の生産指示に変換され、配送計画システムによってトラックの配送指示に変換されます。さらに、蓄積された情報を用いて、工場の閉鎖や新設、調達先の変更などの長期的な意思決定を行うこともできます。解析的ITでは、実際問題を抽象化した「モデル」を作成し、そのモデルに対して最適化やシミュレーションを行うことによって、実際問題の解決の助けになる解や代替案の評価を行います。これらのシステムは、モデルという抽象化した世界を経由するため、対象となるモデルについての深い理解が必要になります。

我々が開発した最適化システムも、解析的なソフトウェアの範疇に含まれます。そのため、これらのシステムを使いこなすには、システムに内在するモデルについて十分に理解する必要があります。

一般に、実際問題を解決するための手順は、図2のようなプロセスを経る必要があります。处理的ITにおいては、データ処理から実行までがダイレクトに行われるのに対して、解析的ITのユーザは、実際問題をモデルに翻訳する作業や、結果の解釈や、それをもとにした意思決定をしなければなりません。そのためには、現場で使われている用語をモデル内で使われている用語に翻訳したり、枝葉の条件を取り払ったり、条件を加工したりして、モデルに変換する必要があります。これには、モデルの理解だけでなく、問題の変形のセンスが必要になります。問題の変形は、「帰着」とも呼ばれ、画一的な手順で表すことのできない、問題に応じた職人芸(アート)が必要となります。

3. サプライ・チェーン最適化モデル

サプライ・チェーンを最適化の切り口から捉えてモデル化する際には、意思決定のレベルで分類することが常套手段です。ここで意思決定レベルとは、簡単にいえば、その意思決定がどのくらいのスパンで行われるかを表します。大雑把に分類すると、年次以上の長期の視点で行われる意思決定をストラテジック(長期、戦略)レベル、週次や月次の中期の視点で行われる意思決定をタクティカル(中期、戦術)レベル、分、時間、日の短期の視点で行われる意思決定をオペレーショナル(短期、作戦、運用、業務)レベルと呼びます(図3)。

ストラテジックレベルの意思決定は、一度決めると数年間は変更ができないものを扱います。例えば、工場や配送センタの閉鎖や新設などが代表的です。これ

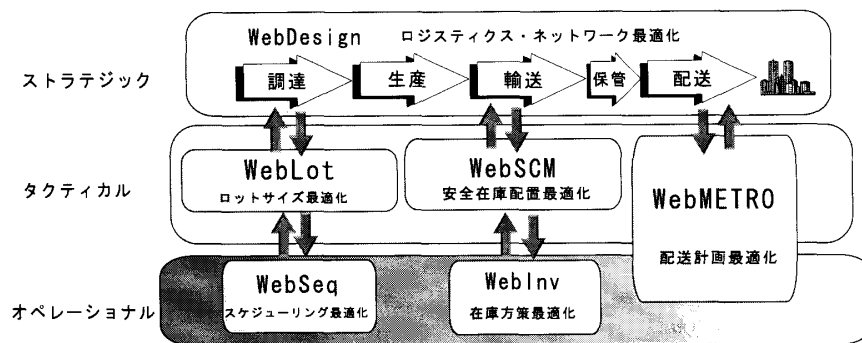


図3 サプライ・チェーン最適化システム

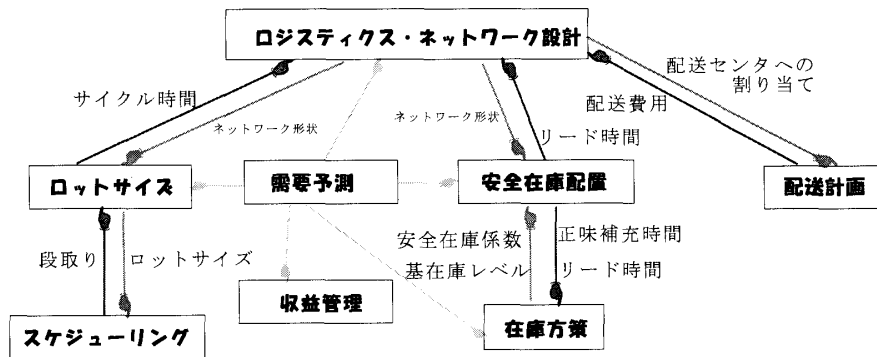


図4 システム間の情報のやりとり

らの意思決定を支援するためのモデルとして、ロジスティクス・ネットワーク設計モデルがあります。このモデルは、ロジスティクス・ネットワーク最適化システム WebDesign に組み込まれています。

タクティカルレベルの意思決定システムには、オペレーショナルレベルとストラテジックレベルをつなぐためのすべてのシステムが含まれます。

例えば、月単位や週単位で決定される生産計画システムや輸送計画システムは、タクティカルレベルの意思決定支援システムの代表例です。月や週を単位期間とした多期間を考慮して、生産と輸送を同時に最適化するためには、多期間のロジスティクス・ネットワーク設計モデルを用います。このモデルも、ロジスティクス・ネットワーク最適化システム WebDesign で扱うことができます。

サプライ・チェーン内の、どこに安全在庫を配置するかを決定するための意思決定も、タクティカルレベルに属します。安全在庫の最適配置を決めるには、顧客サービスと在庫費用のトレードオフを考慮する必要があります。このトレードオフ関係を最適化するためのモデルが、安全在庫配置モデルです。このモデルは、安全在庫配置システム WebSCM に組み込まれています。

また、サプライ・チェーン内の諸活動をどれだけま

とめて行うかを定める、いわゆるロットサイズの意思決定もタクティカルレベルに属します。実際にはオペレーショナルに近いタクティカルの意思決定なので、タクティカル・オペレーショナルレベルと呼ばれることもあります。生産や輸送の活動をどれだけまとめて行うかを定めるためには、活動に伴う段取り費用と在庫費用のトレードオフを考慮する必要があります。これを最適化するためのモデルは、ロットサイズ最適化モデルと呼ばれます。このモデルは、ロットサイズ最適化システム WebLot に組み込まれています。

オペレーショナルレベルの意思決定には、毎日繰り返し用いられる意思決定からリアルタイムで決定しなければならない意思決定が含まれます。

例えば、工場内のスケジューリングの作成やトラックの配送計画などが代表例です。スケジューリングに関してはスケジューリング最適化システム WebSeq で、配送計画に関しては配送計画最適化システム WebMETRO で解説します。ちなみに、配送計画はタクティカルレベルの意思決定でも用いられます。例えば、コンビニエンスストアにおける配送では、一度作成したトラックの巡回順は、商品の大幅な入れ替えが行われるまで変更しません。これは、日々の巡回順の変更による費用の削減よりも、毎日同じルートを通じドライバーが巡回することによる安定性を重視するた

めです。

日々の需要の変動に応じた在庫のコントロール方策のためのパラメータ決定も、オペレーショナルレベルの意思決定になります。これは、在庫方策最適化システム WebInv で扱います。

実際のコンサルティングでは、ストラテジック、タクティカル、オペレーショナルの境は厳密なものではなく、実際問題に応じて柔軟に視点を変化させることが重要になります。また、これらのシステムは、お互いに情報を交換しあい、協調してサプライ・チェーン全体を最適に運用することが理想です（図4）。

4. 在庫の分類とモデル

サプライ・チェーンを考えると、在庫はあらゆるモデルで登場し、かついくつものモデルにおいては中心的な役割を果たします。一言でいうと、サプライ・チェーン内では、在庫は潤滑油の働きをします。しかし、実際には、在庫をもつ動機は様々です。例えば、調達の責任者は、まとめ買いをすると単価が下がるために、在庫を増やします。販売責任者は、顧客が欲しいときに商品がないと困るので、十分な在庫をもつことを倉庫の責任者に要求します。生産責任者は、ピークの需要に生産が間に合わないと困るので、空いた時間で生産をすることによって在庫を積み増します。このように、現場の在庫は、色々な意思決定者の色々な動機によって積まれているものなのです。そのため、現場に積まれている商品の在庫を一緒にたに捉えていては、最適化は不可能です。在庫を最適化するには、在庫を要因別に分類し、在庫とトレードオフ関係にある要因を発見し、個別撃破していかなければなりません。

次に、在庫を動機別に分類するとともに、トレードオフ関係にある項目を抽出し、さらにトレードオフを最適化するためのモデルについてまとめておきます。

4.1 輸送中在庫

輸送中在庫は、サプライ・チェーン内を品目が移動しているときに必然的に発生する在庫で、パイプライン在庫とも呼ばれます。これを削減するためには、輸送時間が短い輸送モードで運ぶ必要がありますが、輸送時間の短縮にはそれなりの費用がかかります。すなわち、輸送中在庫費用は、輸送のスピードのための費用とトレードオフ関係があります。このトレードオフ関係は、ストラテジックレベルの意思決定であるロジスティクス・ネットワーク最適化システム Web-

Design に組み込まれています。

4.2 サイクル在庫

サイクル在庫とは、輸送や生産が定期的に行われているときに発生する在庫です。例えば、1週間に一度だけある港から別の港に輸送を行う船を考えたとき、両方の港では、最大で1週間分の需要量だけの在庫をもつことになります。需要のスピードが一定であると考えると、ちょうどその半分の平均在庫をもつことになります。これがサイクル在庫です。サイクル在庫を減らすためには、輸送を頻繁に行えばよいのですが、輸送には固定費用がかかるので、そのための費用が増大します。すなわち、サイクル在庫費用は、輸送の固定費用の和とトレードオフ関係にあります。

同様に、生産ラインにおいても同じ品目だけをずっと生産し続けるのではなく、定期的に別の品目に切り替える必要があります。生産の切り替えの際には、段取り費用と呼ばれる固定費用がかかりますが、生産におけるサイクル在庫は、この段取り費用の和とトレードオフ関係にあります。このトレードオフ関係は、ストラテジックレベルではロジスティクス・ネットワーク最適化システム WebDesign に、オペレーショナルレベルでは在庫方策最適化システム WebInv に組み込まれています。

4.3 ロットサイズ在庫

ロットサイズ在庫は、サイクル在庫の需要が一定のスピードでない場合の呼び名です。需要のスピードが一定でない場合には、輸送や生産の頻度もまちまちになります。このような場合には、輸送や生産をまとめて行う際に発生する在庫の意味で、ロットサイズ在庫と呼ばれます。ロットサイズ在庫も、サイクル在庫と同様に、輸送や生産の際の固定費用とトレードオフ関係があります。このトレードオフ関係は、ロットサイズ最適化システム WebLot を用いて適正化されます。

4.4 作り置き在庫

作り置き在庫は、季節変動をもつ需要に対して、限られた資源で対応するために発生する在庫です。例えば、夏場に需要が集中する清涼飲料水の缶は、春先から製造を開始して、倉庫に保管をしておきますが、これは作り置き在庫になります。ジュースの原料の果物のように、供給側が季節変動するために発生する在庫も、作り置き在庫と呼ぶことにします。作り置き在庫は、ピーク時に対応できる生産資源があれば0にできるので、生産資源を確保するための固定費用や残業代などの資源超過費用とトレードオフ関係にあると考え

られます。このトレードオフ関係は、ストラテジックレベルではロジスティクス・ネットワーク最適化システム WebDesign で、タクティカルレベルではロットサイズ最適化システム WebLot で最適化することができます。

4.5 安全在庫

安全在庫は、需要の不確実性に対処するために保持する在庫です。将来における顧客需要の予測は「必ず」外れます。そのため、品切れをなくし、かつ顧客のニーズに迅速に対応するためには、ある程度の在庫を抱えておく必要があります。顧客サービスを定量化することは一般には難しいことですが、いつでもすぐに確実に商品が手に入ることと定義しておきます。安全在庫は、このような顧客サービスとトレードオフ関係にあります。このトレードオフ関係は、ストラテジックレベルではロジスティクス・ネットワーク最適化システム WebDesign に、タクティカルレベルでは安全在庫配置システム WebSCM に、オペレーショナルレベルでは在庫方策最適化システム WebInv に組み込まれています。

5. システム概観

すでに開発済みのサプライ・チェーン最適化システムを簡単に紹介しておきます。

在庫方策最適化システム WebInv は、日々の需要の変動に応じた在庫のコントロール方策のためのパラメータを最適化します。通常の在庫管理では、単一の地点の安全在庫量を、勘で決められたサービス率によって決定する方法が多く用いられています。しかし、発注先（小売店では卸、卸ではメーカーなど）が在庫切れを起こした場合には、目標とするサービスが達成できなくなることから明らかなように、各在庫地点の適正在庫量は、サプライ・チェーン全体を考慮して決めなければ全体最適にはなりません。WebInv を使うと、全体最適な基在庫レベル、ならびに発注点、発注量を求めることができます。

安全在庫配置システム WebSCM は、サプライ・チェーン内のどこに安全在庫を配置するかを決定します。この意思決定は、WebInv よりやや上位のタクティカルレベルに属します。WebSCM では、サプライ・チェーン全体を通して、どこに安全在庫を配置するかを、戦略的に最適化することを目標とします。ある統計によると、日々の運用によって決まる在庫費用は、全体の 20%程度で、その他の 80%は、戦略的な（中・長

期的な）在庫の配置によって定まってしまうといわれています。WebSCM の狙いは、この 80%の部分を最適化を用いて削減することです。しかし、サプライ・チェーン全体を考慮して在庫を削減することは、現実には簡単なことではありません。それぞれの在庫地点は、異なる意思決定者によって運営されている場合が多いので、全体を考慮して最適化した結果を適用するためには、個々の意思決定者の利害関係を調整して、説得する必要があるからです。その際には、サプライ・チェーン全体を考えた定量的なモデルが必要不可欠となります。WebSCM は、そのための補助としての役割を果たします。安全在庫配置モデルは、サプライ・チェーン全体を最適化によって改善しようとする際の取っ掛かりとなるモデルです。そのため、サプライ・チェーン改善のプロジェクトの際には、まず主力の品目に対して WebSCM を適用して、最適化の効果を確認することをお薦めしています。

ロジスティクス・ネットワーク最適化システム WebDesign は、サプライ・チェーン全体のネットワーク設計を行うときに用います。WebDesign の第一の目標は、サプライ・チェーン全体を通じたストラテジック（戦略的）な意思決定を包括的に支援することです。ストラテジックレベルの意思決定には、どこから原材料（もしくは部品）を調達するか、どの工場のどの生産ラインで生産するか、どの地点からどの地点にどのような輸送手段（モード）で輸送を行うか、どのような生産方式で生産を行うか、どこに工場もしくは倉庫を新設するか（もしくは移転するか、閉鎖するか）などがあります。これらの意思決定を、1年以上、数年から数十年のスパンで計画するのが、ストラテジックレベルの意思決定です。

WebDesign の第二の目標は、サプライ・チェーン全体（もしくは一部）に対するタクティカル（戦術的）な意思決定を支援することです。タクティカルレベルの意思決定には、いつ、どこから原材料（もしくは部品）を調達するか、いつ、どの工場のどの生産ラインで、どれだけ生産するか、いつ、どの地点からどの地点にどのような輸送手段（モード）で輸送を行うか、短期的に賃貸が可能な施設をどのようなタイミングで利用するか、などがあります。これらの意思決定を、数ヶ月から数年のスパンで計画するのがタクティカルレベルの意思決定です。

ロットサイズ最適化システム WebLot とスケジューリング最適化システム WebSeq は、ともに工場内

における生産の意思決定の支援を行うためのシステムです。WebLotは主にタクティカルレベルで用いられ、WebSeqはオペレーショナルレベルで用いられます。

WebLotでロットサイズ（生産をどれだけまとめて行うか）を決めた後、まとめた生産を作業として登録してWebSeqを用いることによって、ロットサイズを考慮した作業の順序が決定できます。WebLotの基礎になるロットサイズ決定問題とは、複数の品目の最適な生産量を決定するモデルです。ロットサイズ決定問題には色々な解釈が可能です。従来のMRP（Material Requirement Planning；資材所要量計画）で近似的に扱っていた各工程別の資源制約を厳密に満たした生産スケジュールを求める問題と捉えたり、APS（Advanced Planning and Scheduling）では適当なルールによって決められていたロットサイズを、最適に決定する問題と捉えることができます。

WebSeqのソルバ部分は、野々部・茨木両先生の資源制約付きスケジューリング問題を解くためのメタヒューリスティクスです。このソルバは、多様な条件のついた実際問題を高速に求解することができるものですが、WebSeqは実務家にとって分かりやすいモデルのみを抽出し、インタフェースをつけたものです。

配送計画最適化システムWebMETROは、トラックなどの輸送資源が、複数の需要地点（顧客）に対して巡回輸送（配送）を行う際の巡回順（ルート）の最適化を行います。ほんの15年ほど前には、配送計画は人間の長年の勤と経験に基づく必要があるため、最適化は不可能であるといわれていました。そのような日本の現状を打破するために開発したのが、配送計画最適化システムMETRO（MEta Truck Routing Optimizer）です。METROは、当時その有効性が認識されはじめていたメタ解法をベースとして、簡単なユーザインタフェースをつけたシステムですが、現在までに多くの企業で使用され、ソルバ部は数社の販売するシステムのコア部分として利用されています。

ここで紹介するWebMETROは、METROを簡略化して、Webアプリケーションに書き直したものです。配送計画の実際問題を解決するためには、現場に応じた様々な付加条件を考慮する必要が出てきますが、WebMETROは、その第一刀として利用できると考えています。

需要予測システムWebForecastは、最適化を用いて需要予測を行うシステムです。需要予測は、他のシステムの基礎データを与えます。収益管理最適化シ

テムWebRM（Revenue Management）は、ホテルの部屋や航空機の座席など、ある時刻がくるとその価値が失われる資産（陳腐化資産）に対して、価格を動的に変更することによって収益を最大化するシステムです。現在のバージョンでは、主に宿泊業を想定して作成されています。WebForecastならびにWebRMは、まだ基礎的な部分を実装したプロトタイプのシステムです。

6. 最適化問題に対するクラスタ & グリッド計算

6.1 クラスタ & グリッド計算

高性能なスーパーコンピュータなどを用いて並列計算を行う手法は古くから行われていますが、最近注目されている並列計算技術といえば、やはりクラスタ計算とグリッド計算になります。クラスタ計算に関する研究はPCやワークステーションなどの高性能化、低価格化に伴って1990年代半ばより開始されました。特に比較的安価なPCで構成されたクラスタ計算機はPCクラスタと呼ばれ、現在のクラスタ計算機の主流になっています。クラスタ計算機は複数の独立した計算機を高速LANで結合し、単一システムのイメージを提供する並列計算技術です。特に一般のPC技術を活用するPCクラスタでは、近年のPCの高性能化と低価格化によって、従来のスーパーコンピュータの数十倍から数百倍のコストパフォーマンスを達成しています。

クラスタ計算に関する技術は、主にハードウェアとソフトウェアの部分に分けることができます。PCクラスタでは使用するPCは、CPUやメモリなどの直接数値計算に関わる部分に重点的に投資されています。またネットワークカードやスイッチは、Gigabit EthernetやMyrinetやInfinibandなどの高性能の部品が使用されることが多くなっています。逆にビデオカードや外部入出力装置は、必要最小限の部品で済まされることが多いようです。また、ソフトウェアでは並列計算を実現するためのツールとして、MPI¹やOpenMP²などが有名です。

またPCクラスタの全体性能を上げるために直接ハードウェアの制御を行ったり、効率の良いプロセスのスケジューリングを行うSCore³が使用されています。

¹<http://www.unix.mcs.anl.gov/mpi/>

²<http://www.openmp.org/>

³<http://www.pccluster.org/>

高速な計算機の上位 500 台を集めたウェブサイト TOP 500⁴によると、近年スーパーコンピュータだけでなく、クラスタ計算機が上位に多くランキングしています。

次に、グリッド計算を実現するためのソフトウェアについて説明を行います。グリッド計算システムでは、全ての計算機が LAN 等で接続されている場合だけでなく、遠隔地のクラスタ計算機同士を高速なネットワーク（インターネット等）で接続して、お互いの計算機資源（特に CPU パワー）を有効に活用し、大規模な問題を効率良く解くことが主要な目的になります。グリッド計算システムは Ninf⁵（Ninf-1 & Ninf-G）、NetSolve⁶、Condor⁷などが有名です。例えば Ninf には次のような特徴があります。1：通常の関数に似た GridRPC のインタフェースを持っているので、簡単な関数等の記述でグリッド上で Client-Server モデルを実現することが可能。2：インターネット等によって広域に接続、提供されているハードウェア、ソフトウェアの利用が可能。3：多様な言語（C、C++、Fortran、Java など）を開発に用いることが可能。また Ninf では、同期、非同期の呼出しがサポートされているので、非同期の場合では効率良く大量のプロセスの並列動作を行うことができます。

図 5 は非凸二次計画問題に対する逐次凸緩和法[5]（凸計画問題である半正定値計画問題や線形計画問題を子問題として非凸計画問題を解く方法）や多項式方程式に対するホモトピ法[6]（多項式方程式系の全ての孤立解を求めるための方法）を実行するために、Ninf（Ninf-1）を用いて実現された Client-Server システムです。これらの問題では、いきなり元問題

（親問題）を解くのは難しいので、一部の変数の値を固定するなどして複数の子問題を作成して、これらを代わりに解く方法が用いられています。この場合 Ninf Client は 1 台の PC であって Ninf Client から非同期に Ninf Server（PC クラスタ）上の複数の PC が呼び出されます。そして Ninf Server 上では同時に多くの子問題が生成されて解かれることとなります。この場合 Ninf Server は複数の PC クラスタで構成されていてもよく、また複数の PC クラスタは、それぞれ遠隔地に設置されていても構いません。その場合は接続されているインターネットなどのネットワークの転送速度が重要になってくることはいまでもありません。

また Ninf-G は独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）で開発されている GridRPC システムで、従来の Ninf（Ninf-1）を Globus Toolkit⁸を用いて再構築したものになります。Globus Toolkit は Globus Project（現 Globus Alliance）によって米国 Argonne 国立研究所などで開発が行われています。またグリッドコンピューティングの標準化団体である Global Grid Forum⁹でも標準実装として取り上げられていますので、Globus Toolkit は事実上グリッドのミドルウェアの標準になっています。詳しくは、情報処理 2003 年 6 月号“グリッドコンピューティングの技術動向”や文献[1]を参照してください。

6.2 クラスタ & グリッド技術を用いたサプライ・チェーン最適化システム

前節ではシステムの概要を簡単に解説しました。図 6 はクラスタ & グリッド技術を用いたサプライ・チェーン最適化システムを簡単に説明したものです。これらの WebInv などのソフトウェアはすでに述べたように、全て Web アプリケーションでありインターネットから使用可能です。Web アプリケーション用サーバは Windows 2003 Server 上に IIS+ASP.NET を用いて構築され、データベースサーバは MySQL を用いています。各ソフトウェアは Microsoft の Visual Basic を用いて作成されていますが、ロットサイズ最適化のように混合整数計画問題（MIP）として定式化される場合には Visual Basic から GLPK（GNU の最適化ソフトウェア¹⁰）を呼び出して問題を解いています。しかし問題の規模が大きくなった場合

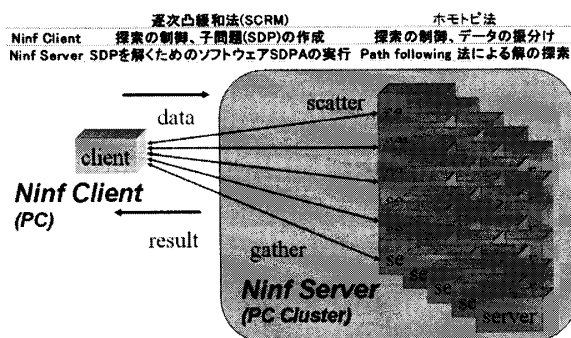


図 5 Ninf を用いた Client-Server システム

⁴<http://www.top500.org/>

⁵<http://ninf.apgrid.org/>

⁶<http://icl.cs.utk.edu/netsolve/>

⁷<http://www.cs.wisc.edu/condor/>

⁸<http://www.globus.org/>

⁹<http://www.ggf.org/>

¹⁰<http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>

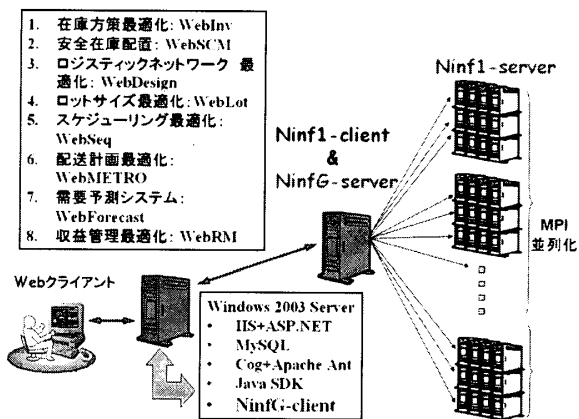


図6 クラスタ & グリッド技術を用いたサプライ・チェーン最適化システム

はMIPを最適に解くことは難しく、近似解法を適用するとしても効率良く近傍探索を行うためには並列計算が必要になります。そこでSDPARAのグリッドポータルシステム[2]で用いたNinf-GとNinf-1の二段階システムと同じ仕組みをここでも利用することができます。Windows 2003 ServerにはNinf-GのJavaクライアントがインストールされていますので、例えばユーザから大規模なロットサイズ最適化問題の求解要求があった場合にはNinf-GとNinf-1を図6のように用いてPCクラスタ上のMPIによって並列化されたロットサイズ最適化問題を解くための近似解法(緩和固定法, 容量スケール法)などを呼び出します。Ninf-Gを用いることによってWindows 2003 Serverは遠隔のPCクラスタ上にインストールされたプログラムを使用することが可能になります。今後は問題のサイズによってローカルで解くか、グリッド上のPCクラスタに委託するかの判断を適切に行う仕

組みの開発も必要になると思われます。

7. おわりに

ここで解説したシステムは、すべて次のWebサイトで体験することができます。

<http://www.logopt.com/WEBAppli.htm>

また、詳細については文献[4]をご覧ください。

参考文献

- [1] 株式会社 IBM システムズ・エンジニアリング: “グリッド・コンピューティングとは何か”, ソフトバンクパブリッシング, 2004.
- [2] K. Fujisawa, M. Kojima, A. Takeda and M. Yamashita: “Solving Large Scale Optimization Problems via Grid and Cluster Computing”, to appear in Journal of the Operations Research Society of Japan, 2004.
- [3] 久保幹雄: “サプライ・チェーン最適化—モデル, アルゴリズム, 意思決定支援システム—”, スケジューリング・シンポジウム 2004 予稿集, 2004.
- [4] 久保幹雄: “実務家のためのサプライ・チェーン最適化入門”, 朝倉書店 (発行予定).
- [5] A. Takeda, K. Fujisawa, Y. Fukaya and M. Kojima: “Parallel Implementation of Successive Convex Relaxation Methods for Quadratic Optimization Problems”, *J. of Global Optimization*, 24, pp. 237-260, 2002.
- [6] A. Takeda, M. Kojima and K. Fujisawa: “Enumeration of All Solutions of a Combinatorial Linear Inequality System Arising from the Polyhedral Homotopy Continuation Method”, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 45, pp. 64-82, 2002.