

計画型問題における AI の応用事例

—物流分野を中心として—

武藤 猛

1. はじめに一物流における OR と AI

顧客のニーズの多様化に伴ない、製造業においては多種少量生産が一般化し、これに対応するための生産システムとして CIM (コンピュータ統合生産) 化が進行しつつある。CIM は製造業の 3 大部門である営業、開発・設計および生産をコンピュータと通信技術をベースに、「情報の流れ」という観点から戦略的に再編成することを目的としている。この CIM が成功するかどうかの重要なファクターが、「情報の流れ」と不即不離の関係にある「物の流れ」、つまり物流をいかに効率よくコントロールするかにある。たとえば生産リードタイムの削減、在庫の削減、あるいは販売部門、生産部門と顧客とを直結した JIT (ジャスト・イン・タイム) 生産等を実現するには「情報の流れ」と「物の流れ」とを密接に関係づける必要がある。このように、物流システムは CIM 構築において重要なインフラストラクチャーとなる。

一方、非製造業においても、顧客のニーズの多様化に伴うサービスの向上が求められ、注文単位の小口化、納期短縮等の対応が必要とされている。この場合も JIT 納品等を実現するための物流の効率化が重要となっている。

物流(あるいはより広くロジスティクス)システムは、機器・設備の制御のレベルから経営上の意思決定に到るまで広範囲にわたっている。したがってそれを実現するためのソフトウェア技術も、OR、シミュレーション、データベース、ネットワーク等さまざまである。高度化する一方の物流システムの要求に対応するためには、従来型ソフトウェア技術だけでは十分ではない。物流システムへ要求される動的で柔軟な特質を考えると、AI (人工知能)、特にその中でも ES (エキスパートシステム)

むとう たけし 日本デジタルイクイップメント㈱
アプリケーションセンター

〒170 豊島区東池袋 3-1-1

表 1 物流における ES テーマ例

部 門	エキスパートシステム例	解 釈	診 断	制 御	計 画	設 計	D S	そ の 他
企 画	市場分析支援							×
	需要予測支援							×
	販売計画支援							×
	購買計画支援							×
	生産計画支援							×
	物流資源計画支援							×
販 売	見積支援							×
	受注データ分析支援							×
	顧客管理							×
	返品管理							×
生 産	生産スケジューリング					×		
	工程管理	×	×		×		×	
	工場内物流管理	×	×	×	×			
	物流設備故障診断	×	×					
	物流設備制御	×	×	×				×
包 装	包装設計							×
	荷積み計画					×	×	
在庫管理	在庫管理	×	×					×
	在庫品引当て支援	×	×					×
倉庫管理	自動倉庫故障診断	×	×					
	自動倉庫運転支援	×	×	×				×
配送/輸送	配送計画					×		
	配車計画					×		
	配船計画					×		
	最適輸送径路選定					×		
	物流シミュレーション					×	×	×

の応用が有望である。最近発表された物流分野への ES の応用例および今後予想される応用例を表 1 に示す。この表では、物流にかかわる企業内の各部門毎の ES テーマ例を、ES の 6 つのタイプ：解釈、診断、制御、計画、設計、DS (意思決定支援) およびその他に分けて示している。この表からわかるとおり、物流分野におい

表 2 スケジューリング問題の解法：OR vs AI

分類	解法	特徴	問題点
OR	<ul style="list-style-type: none"> ●スケジューリング定理 ●組合せ最適化法 (整数計画法) 一分岐限界法 一動的計画法 ●その他 	<ul style="list-style-type: none"> ●数理モデル化できることが前提 ●最適解は保証される 	<ul style="list-style-type: none"> ●大規模、複雑な問題は計算時間がかかりすぎる ●制約条件が動的に変わる場合には向かない
	<ul style="list-style-type: none"> ●ディスパッチングルール ●ヒューリスティックアルゴリズム ●シミュレーション ●その他 	<ul style="list-style-type: none"> ●最適解は保証されない ●生産シミュレータに用いられる手法 ●会話型シミュレーションも可能 	<ul style="list-style-type: none"> ●仮定される制約条件は必ずしも現実的でない ●ガイダンスシステムであり、詳細条件は別途考慮
AI	<ul style="list-style-type: none"> ●ルールベース ●ルール&フレームベース ●ベトリネットモデル ●制約主導探索 	<ul style="list-style-type: none"> ●ヒューリスティックな解法であり、最適解は保証されない ●複雑な制約条件を考慮できる ●保守がやりやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ●実用システムの場合は、シミュレーション等OR手法と組み合わせる必要がある。

ては計画型およびDS型ESのニーズが高い。特に計画型問題はすでに実用段階にあり、企業に十分効果をもたらしうる。最近の調査でも、計画型の実用ESは数、比率ともに増大している[1]。

スケジューリング問題に代表される計画型問題はすべての組織で日常的に実施されている重要業務のひとつであるが、特にES化が注目されているのは次の4つの理由による。(1) 激しく変化する市場のニーズに対応できる生産システム、物流システムが求められており、その中でスケジューリングも複雑となっている。(2) ほとんどの企業では熟練者がスケジューリングを担当しており、コンピュータを用いた自動化が遅れている。(3) 熟練者のノウハウを前提とするESに向くテーマである。(4) ESのテーマとして戦略性が高い、つまり、納期短縮、在庫削減、物流コスト削減、人員削減等の直接的効果をあげやすく、企業の競争力強化に役立つ。

従来、スケジューリング問題はORによって解かれてきた[2]。その解法の特徴は、まずモデルを設定し、それに対して整数計画法等の手法で最適解を求めることにある。しかしながら現実の問題では大規模、複雑になり実用的時間内で解を求めることが困難になることが多い。一方、AIによるスケジューリング問題の解法は人間の経験則を知識ベース化したもので、必ずしも最適解は保証されない。スケジューリング問題におけるORとAIによる解法の比較を表2に示す。

表2からわかるとおり、ORとAIとは必ずしも排斥

しあうものではなく、むしろ相補うものと考えた方がよい。すなわち、小規模で数理モデル化可能な問題はOR手法が適用可能であり、一方、大規模で複雑な問題はAI手法が有利である。AI手法の場合、現在のところAI単独のシステムがほとんどであるが、今後ORとAIの各々の特徴を生かした統合型システムも十分考えられる。

本論文では物流分野における計画型問題へのAI応用事例を2つ紹介し、最後にもういちどORとAIとの統合について考察する。

2. 事例1：広域物流管理ES

NDR (National Dispatch Router) は米国DECの物流担当者を支援するESである。NDRは米国内において、DECのコンピュータをトラック輸送するための経路とスケジュールを提案し、物流コスト、輸送時間、契約業者数を最小にするためのシステムである。

システムの説明に入る前に、コンピュータメーカであるDECの物流の概要について述べよう。DECは本社および工場、研究所を米国に持ち、世界各国に営業拠点と工場をもつ国際企業である。世界各国の部品メーカおよび自社の部品工場から調達された部品は、主要機器工場、CPU組立て工場、およびシステム組立て工場の3段階を経て最終製品として仕上げられる。次に、すべての製品は米国内の物流センターに送られ、ここから米国および世界各国の顧客あて発送される。

DECにおける物流の特徴は、(1) 調達、生産、物流、販売およびサポートに関して企業活動が国際的であること、(2) 多種多様なコンピュータ製品を生産・販売していること、(3) 製品ライフサイクルが比較的短いこと、(4) 受注生産をベースにしているが、一部製品は見込生産をしていること、が挙げられる。このような背景の中で、DECにおける物流面の課題は、(1) 調達、生産から納入までの各段階でのリードタイムを短縮すること、(2) 在庫(部品、半製品を含む)を削減すること、の2点に集約される。

以上の全社的背景のもとで、NDRの開発経過をもう少し詳しく述べよう。DECの物流担当者は、増大する一方の複雑な情報の中で、貨物の輸送のために最も効率的でコスト的にも有利な輸送手段を選択する必要がある。また、輸送業者との契約条件、輸送の途中経過の追跡、トラックの数、トラックの経路、貨物、納入期日等に常に注意を払いつづける必要があった。

ビジネスの拡大につれ、物流担当者の業務も増大する一方であった。従来この業務は1人が担当し、経験と能力が必要であった。そこで、DECは物流担当者の知識をコンピュータに移植し、自動化するNDRプロジェクトに着手した。

物流担当者の知識と意思決定能力をシステム化し、実務に活用するためには種々のアプローチが考えられるが、最も実現性の高いものとしてAI手法が選択された。

NDRの原型は1983年のカーネギー・メロン大学とDECの共同研究I-NETである[3]。I-NETは企業の物流部門の管理者を支援するために開発されたシステムで、典型的な製造業の物流部門をモデルとして、工場、倉庫、物流センター、小売店および顧客から構成される物流ネットワークのシミュレーションと管理者の意思決定支援を行なう。I-NETは野心的な試みであったが、計算性能、ユーザインタフェース等で問題があり実用化には至らなかった。

NDRは、I-NETの成果をベースに、対象範囲を限定し、実用ESとしての徹底的改良を加えたシステムである。プロジェクトは1986年にスタートし、1988年に実用化された。I-NETからの改良のポイントは、応答時間の向上、ユーザインタフェースの改良およびシステムの頑健性の向上である。NDRはすでに運用段階にあり、ユーザ部門が日常的に使用している。1回のスケジューリングに要する時間は約15分である。システムの

保守は情報システム部が担当している。

NDRはAI言語/ツールとして、VAX LISPおよびKnowledge Craft(KC)を用いている。知識表現としては、ルールの他フレームおよびオブジェクト指向を用いている。KCは知識の表現に豊富な機能を持つ第2世代ES構築ツールであり、従来型言語やデータベースとも容易に統合できる。NDRはMicro VAX II上で動いている。

NDRの詳細な内容について述べよう。NDRのメインメニューは、貨物の登録、貨物のキャンセル、貨物の修正、データベース(集荷・配送施設、経路等)の修正、輸送契約条件の修正、配送時間予測、コスト予測、配送時間予測、コスト予測、配送スケジュールの強制的修正、日常的修正、トラック情報リストアップ、スケジュールリング、印刷等から構成されている。たとえば最初のメニュー「貨物の登録」を選んだ場合、出発地、目的地、貨物の大きさ、集荷日、納入日等を入力する。なお、システムの有する知識ベースにより、出発地と目的地の距離および輸送に要する時間から、納入日に無理がないかどうか自動的にチェックされる。種々の貨物の情報が入力された後、「スケジュールリング」のメニューを選ぶことにより、貨物便毎に輸送スケジュール、輸送コスト等のリストが出力される。これらはNDRの有する知識ベースにより、経験上最適化されたものである。

NDRの知識ベースについて述べよう。NDRの知識ベースはルールとフレーム(スキーマ)の2種類に分けられる。ルールは物流担当者の経験則を表現し、フレームは物流システムに関するオブジェクトを表現している。図1はルールの一例で、貨物便の調整に関するものである。NDRのルールの数は約50である。図2はフレームの構成を表わす。フレームは静的フレームと動的フレームに分けられ、前者は比較の変動が少ないオブジェクトを表わし、後者はスケジュールリングのつど変化するオブジェクトを表わしている。静的フレームは約450、動的フレームは10日分のスケジュールリングを行なう場合約450である。推論は、ルールが起動され、フレームが必要に応じて参照されながら進行し、与えられた条件を満たすようスケジュールリングを行なう。

NDRの直接的効果について述べよう。従来手作業であったスケジュールリングを自動化することにより、NDRは物流担当者がより早く、より安い輸送スケジュールを作成することを支援する。このことにより、物流コストの約10%が削減された。

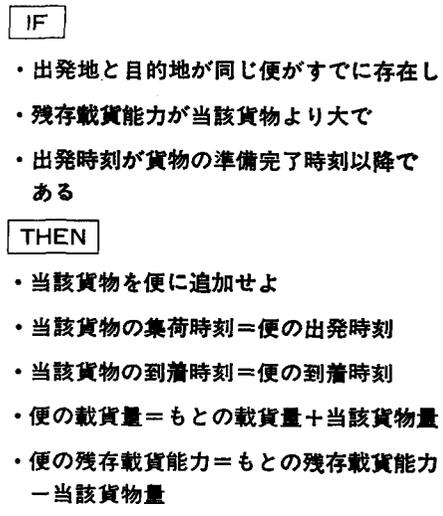


図 1 ルールの例：貨物便の調整

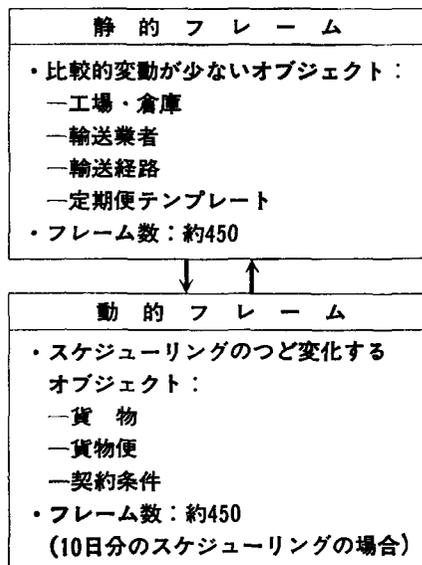


図 2 フレーム（スキーマ）の構成

次にNDRの間接的効果として、次の6点が挙げられる。(1) 4半期毎にあらかじめ、トラック容量の需要を予測できる機能があるので、必要なトラックを早目に手配できる。(2) よく使う輸送スケジュールを類型化し、定期便のモデルを作成することが可能。(3) 報告書の自動作成機能。(4) 今後の業務増大への対応が可能。(5) 物流担当者の生産性向上と新人トレーニングの効率化。(6) 従来手作業だったものをコンピュータ化することによる、情報の流れのスムーズ化と質の向上。

NDRはDECの物流システムのごく一部にすぎない。DECでは、従来ソフトウェア技術をベースに、AI技術を取り入れながら、全社的規模でシステムの改良が続けられている。

3. 事例2：物流ネットワークのシミュレーション

2番目の事例DMS(Distribution Modelling System)は、まだDEC内でプロトタイプ段階のシステムであるが、物流システムに対する新しいアプローチとして、AI言語をベースにしたオブジェクト指向プログラミングを採用しているのが特徴である。

DMSは販売物流の管理者用意思決定支援ツールとして開発された。物流ネットワークに関して、物流管理者は各部門の互いに矛盾する要求を調整しなければならない。すなわち、(1) 営業担当者の立場からは顧客の納期

を短くするため、十分な在庫を持ちたい。(2) 在庫担当者の立場からは在庫レベルを極力下げたい。(3) 配送担当者の立場からは配送回数を少なくし、しかもできるだけ満杯で運びたい。(4) 生産担当者の立場からはコスト削減のため、ロット当り生産数量をできるだけ増やしたい。その他、物流固有の課題として、トラックの配送スケジュールから物流ネットワークの変更の可否に至るまでの意思決定を要求される。

一例として、配送を考える。トラックを必要なつど配送するのではなく、満杯になったときのみ配送するとしよう。これにより輸送コストは減るが、納期が遅れる。このため顧客へのサービスが低下し、それによる売上げの減少が輸送コストの節約分を上まわるかもしれない。このような問題に対して、物流管理者は何らかのシステムなしには、いかなる方策がよいか判断することが困難である。DMSの目的は、コンピュータ上で物流システムをモデル化し、種々のパラメータの変更の影響を評価するためのツールを与えることである。したがって、DMS自身がある条件下での最適解を出すわけではなく、物流管理者を支援するシミュレーション用ツールである。

DMSの対象とする物流ネットワークのモデル例を図3に示す。ネットワークを構成する要素である工場、物流センター、デポ、顧客はすべて「オブジェクト」、すなわちメソッド(処理手続き)とデータとの組合せ、と

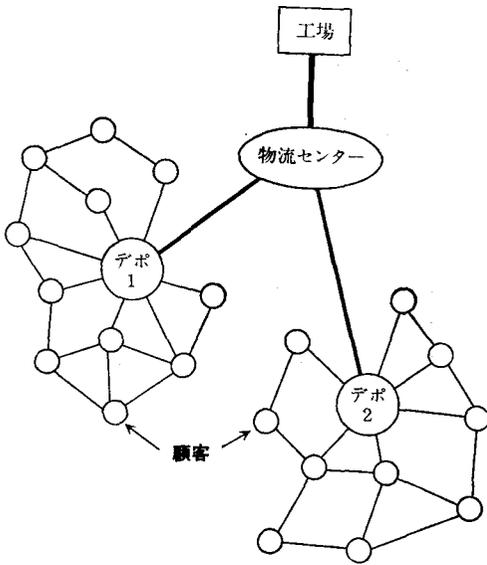


図 3 物流ネットワークのモデル化

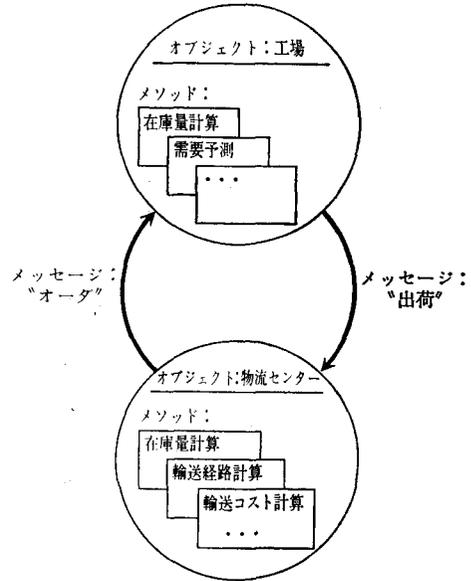


図 4 オブジェクトの例

してモデル化される。シミュレーションは、オブジェクト間の「メッセージ」の交換により進められる。工場と物流センター間の例を図 4 に示す。「工場」オブジェクトは、生産に関するモデルを持ち、在庫量計算、需要予測、生産量決定等に関するメソッドを有する。一方、「物流センター」オブジェクトは、センター内在庫量計算、センターから末端までの輸送経路/輸送コスト計算等に関するメソッドを有する。物流センターの在庫量が適正レベルを下まわれば、工場へ「オーダ」のメッセージが送られ、工場で所定の生産または在庫引き当ての処理後、「出荷」のメッセージが物流センターへ送られる。以下、最末端の顧客からのオーダを順次物流ネットワークで処理しながらシミュレーションが進められる。

DMSはAI言語としてVAX LISPおよびその上で動くオブジェクト指向言語 AI Flavors により書かれている。この他数値処理部分は VAX C, グラフィック部分は Data Views が用いられている。

物流ネットワークにオブジェクト指向言語の手法を用いることの利点は次の通りである。(1) 自然なネットワークのモデル化が可能。(2) オブジェクトの追加/変更が容易。(3) 「what if」(もしこうすればどうなるか?) シナリオのシミュレーションが可能。(4) ソフトウェア開発効率がよい。

DMSはまだ実用システムではないが、以上述べた通り、種々のメリットがあることが明らかになった。物流

他の分野では、今後オブジェクト指向プログラミングの手法を自動搬送システムやFAのシミュレーションに応用することも可能である。

4. おわりに—ORとAIの統合

以上、物流における計画型問題にAIの手法が有効であることを説明してきた。最初にも述べた通り、ORとAIとは必ずしも排斥しあうものでなく、むしろ相補うものと考えた方がよい。計画型問題の解決手法としてORとAIとがどのように統合されるかの模式図を図 5 に示す。この図からわかるとおり、ORによる問題解決モジュールとAIによる問題解決モジュールとは各々適している問題領域があり、解決結果を互いに交換し、次のステップへ進む。AI手法は、厳密なアルゴリズムにもとづく手法を柔軟にし、適用範囲をより広くすることができる。具体的事例として、計画型問題を部分問題に分割して解くさい、部分問題の抽出にAI手法を用い、各部分問題をOR手法で解くことにより、AI手法による柔軟性とOR手法による最適解の高速処理を実現した例がある[4]。

物流が企業戦略の中心的位置を占めつつある今日、物流システムに斬新な手法を適用し、他社に対する差別化を行なうことが重要になっている。物流へのAI応用は比較的新しいが、戦略的システム構築のための重要なテクノロジーである。本論文で述べたスケジューリング問

Computer Today

5月号/発売中/定価930円

夢の次世代コンピュータ

—その現状と未来—

コンピュータシステムとは何か	伊吹公夫
ノイマン型コンピュータとは何か	竹内都雄
プログラミングとは何か	野崎昭弘
通信システムとコンピュータ	松下 温
新しいコンピュータのパーспекティブ	伊吹公夫
新しい素子の研究と未来コンピュータ	古川昌司
超並列計算機とはなにか	村岡洋一
人工知能コンピュータとは何か	古川廉一
データフローマシン—島田俊夫/ファジィコン	
ピューター—安信誠二/ニューロコンピュータ—	
臼井支朗/コネクションマシン—曾根原 登/	
バイオコンピュータ—松本 元/ホロニックコ	
ンピューター—山口陽子/進化するコンピュータ	
—土居洋文/光コンピュータ—谷田貝豊彦他	

月刊誌

数理科学

5月号/発売中/定価960円

物理法則を考える

「自然の摂理」と「人間の思考」

物理法則を考える	阿部龍蔵
天の法則・地の法則	村上陽一郎
物理法則と非線形性	戸田盛和
力の本質を秘める逆2乗則	荒木不二洋
保存則について	川村 清
最小作用の原理	江沢 洋
相転移と漸近的法則	鈴木増雄
量子力学における特異性	高橋 實
場	中西 襄
生命物理における基本法則	土居洋文
カオス	沢田康次他

■最新刊 好評発売中

情報処理システム入門

浦 昭二・市川照久共編/A5/定価1751円

▶価格表示は、税込み価格となっています。

サイエンス社

東京都千代田区神田須田町2-4 安部徳ビル

☎03(256)1091 振替 東京7-2387

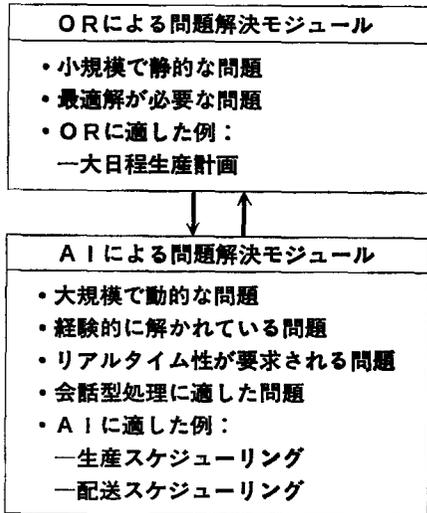


図5 ORとAIの統合

題の他、今後は意思決定支援等へのAI応用が本格化することが期待される。

参考文献

- [1] “第2ラウンド”を迎えたエキスパート・システム, 日経AI, No. 97付録(1990.1.15)
- [2] 特集: スケジューリング, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 32, No. 11(1987), pp. 708-759
- [3] Y. Reddy, et al.: I-NET, A Knowledge-Based Simulation Model of a Corporate Distribution System, Proc. IEEE Conf. Trends and Applications, Gaithersburg, Md.. (May 1983)
- [4] 栗原謙三, 他: 知識工学と数理計画を融合した作業スケジュール方式, 情報処理学会第37回全国大会(1988.9), pp. 1168-1169