九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

プロジェクトマネジメントと情報システム ： 情報インフラ整備とワークフローの視点からの分析

陳, 暁栄

https://doi.org/10.15017/3000255

出版情報：経済論究. 108, pp.43-55, 2000-11-28. 九州大学大学院経済学会
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

プロジェクトマネジメントと情報システム

——情報インフラ整備とワークフローの視点からの分析——

陳　　暁　　栄

目　次

1．まえがき
2．PMの現状と課題
　2.1　PMの必要性
　2.2　PM関連の標準・規格
　2.3　PMのタスク
　2.4　PMの課題
　2.5　PM用ソフトウェア
3．情報インフラ整備の方向性
　3.1　PMと情報インフラ
　3.2　情報インフラ整備の現状
　3.3　日本企業における情報化投資の課題
4．プロジェクトの最適化
　4.1　モデル分析
　4.2　GAによるPM最適化
　4.3　GPによるPM最適化
5．むすび

1．まえがき

企業活動のグローバル化は各国のさまざまな分野における規制緩和促進を要求するとともに，国際的な標準に従った企業行動を求めている。国際的な標準の中で，現在，すでに定着が進んでいるものとして，品質管理基準であるISO9000，および環境保全の基準であるISO14000が良く知られている。これらの基準に限らず，今日の国際的な基準や規格は，いわゆるde fact standardとして広く共通化されている方法やプロセスを，統一的な標準として採用することが多い。本論文で議論するプロジェクトマネジメント(Project Management，以下，PMと略称する）もそのような分野の１つである[(1)(2)]。

プロジェクトは，特定の品質，スケジュール，コストの目標を満足するために期間を限定し，行う一連の作業であり，それを計画，実行，管理することをプロジェクトマネジメントの目的とする。従来より，企業が１つのプロジェクトを実行する場合に，計画の立案から実施後の評価までを管理する発想は存在したが，現在，これを１つの標準的な方法論により管理する動きが急速に高まっている。具体的には，ISO9000，ISO14000と並んで，ISO10006としてプロジェクト管理の標準を確立することがなされ，企業がISO14000などの認定を取得すると同様に，ISO10006を取得すること，あるいは，そのような認定機関の設立や認定技術者を養成することがなされている[(3)-(6)]。

現在まで，PMに関しては理念的な議論が先行しており，現実に実施する場合の問題点について分析した研究は極めて少ないのが現状である。本論文では，１）情報インフラ整備の方法論，２）ワークフローの角度から見るプロジェクトの最適化手法二つの視点から分析を進めていく。具体的には，情報インフラ整備のありかたとワークフローの最適化課題の論点から議論を行っている。これらは，実際のPMの事例を分析する場合の方法論の基礎となるものである。

以下，２.では，PMの現状と課題について簡単に整理する。３.では，情報インフラ整備の方向性を議論する。４.では，従来の理論を基礎としてプロジェクト全体を遺伝的操作（GA:

Genetic Algorithm, GP: Genetic Programming) に基づき，最適化する手法を提案する。

2．PMの現状と課題

2.1　PMの必要性

現在，あらゆる分野で国際的な標準化が進行している。企業がグローバルな場で活動するときに，国際的な標準に従っているかどうかは，1つのポイントとなっており，将来，この傾向は強まると思われる。例えば，企業が公募されたプロジェクトに応募するとき，その計画から実施，評価までを問題なく行うことができる能力を備えているか，そのような手順を常に準備しているかどうかは，その企業の評価そのものであると言える。プロジェクトが要求している直接的な目的の達成はもちろん，その実施や評価，あるいは進行の管理の方法論が，標準として定められている条件を満足しているかも重要な要件となる。このような能力，資格をもっていることを認定された企業は，プロジェクトの受注で有利な立場となるであろう。また，そのような認定を行う機関が必要であると同時に，認定を行う専門家の養成が必要となる。現在では，企業にとって当然となっている品質管理や環境保全の認定の取得に関しても，初期の段階では極めて大きな労力が払われ，実施方法も不透明であった。そのような意味で，PMも企業にとって重要な認定の柱となることは十分に予測できることである。

さらに，プロジェクトを受注する企業にとって，PMが重要なだけではなく，企業の内部的な事業，例えば，工場の新設や補修などの作業においても，PMの方法論を採用する企業が増えている。その目的にはいくつかあるが，プロジェクトの進行管理や効率性の測定，費用と効果分析などの現実的な課題とともに，企業の外部評価を高める役割が存在する。特に，電力産業や自治体など，公共性の高い団体の場合，国際的な入札の管理なども含めて，このようなオープンなシステムが重視されている。いわゆるアカウンタビリティ（Accountability）の担保である。

2.2　PM関連の標準・規格

1990年代に入ると産業の各分野で標準・規格の国際化，いわゆるグローバルスタンダードを作成する機運が高まっている。多くの標準の目的はシステム等の規格化と，それを認定する個人の資格の策定，養成機関の拡充である。PMの分野でプロジェクトの全般を管理する標準には次のようなものがある[(7)-(10)]。

(1)　PMBOK

PMBOK（The guideline to the Project Management Body Of Knowledge）とは米国のPMI（Project Management Institute）が作成したガイドラインであり，1987年に第1版をだし，1996年に改定している。資格認定制度があり，その資格（PMP）の取得が管理者の条件となりつつある。PMBOKの中に，統合マネジメント，スコープマネジメント，タイムマネジメント，コストマネジメント，品質マネジメント，ヒューマンリソース（要員）マネジメント，コミュニケーションマネジメント，リスクマネジメントとプロキュアメント（調達）マネジメントについての規定がある。

これらの中で，タイム，コスト，品質などについては，従来からの生産管理の概念に含まれるものであり，比較的に意味が理解しやすい（管理の難易度は別問題であろうが）。スコープはプロジェクト全体の到達目標を述べるものであり，コミュニケーションは計画の進捗報告等を

管理することを意味する。プロキュアメント（調達）においては，計画から入札，選定，契約の実施完了までの手順を含んでいる。ヒューマンリソース（要員）においては，組織構成の計画，要員の確保，チーム編成などを管理することになる。リスクマネジメントにおいては，プロジェクトに係わるリスクを分析し管理することが述べられる。

(2)　ISO10006

ISO9000シリーズ（品質管理と品質保証の規格）を補完するものとして提案されたガイドラインであるが，位置づけがあいまいとなっている。

(3)　BS6079，AMP

いずれも英国国内の規格である。

また，プロジェクトの評価に関連する標準としては，次のようなものがある。

(4)　ANSI/EIA#748　EVMS

これはANSI（American National Standard Institute）の定めたPM評価にかかわる規格であり，民間主導で定められた経過がある[(11)(12)]。EVMSを実施する上での実際的な手法が整理され，主要な項目は次のようになる。

- WBS（Work Breakdown Structure）
- プログラム組織化
- プログラムスケジュール
- 予算割りつけとリソースプラニング
- アーンドバリュー法
- アカウンタビリティの向上
- パフォーマンス測定

これらの中で，主要なポイントとなっているのは，アーンドバリューによるプロジェクトの評価である。この指標は新しいものではなく，すでに19世紀に米国の企業で使用されていたもので，1967年に国防総省が定義づけして使用されるようになっている。その概念規定にはやや複雑なものが含まれているが，要約的に言えば，プロジェクトの計画と実績との金額比較はもちろん，進捗の遅れによりマイナスなどをすべて金額ベースで評価するものである。進捗の遅れにより損失を回避するスケジュールやコスト，要員の変更が同時に評価され，最終実績として示される。

WBSとはプロジェクトを分解して作業内容を明確にすることを指しており，作業分解図や系統作業一覧とよばれる。この分解の基準には機能や内容などに応じて異なる分類が生じる可能性がある。そのため，多くの場合，成果物（納品物）を基準としてなされる。

次の主要な項目であるアカウンタビリティの向上は，会計上の配慮として分類されているものであるが，最近のPMの背景をなしているものである。これは，主として設計と施工を一体化する方法論（これをD/B（Design/Build）とよんでいる）をさしており，米国の戦後の公共建築物調達の複雑化を解消する目的で発展してきている。このD/Bの方式のもとで，契約関係を結ぶための様式，契約や経費，リスクを統合的に管理するシステムとしてCM（Contract Management）が形成されている。このようなD/Bは日本の公共事業での非効率性の対局にあるものであり，今後，国際的な入札が一般化した場合に大きな課題となるであろう。

(5)　その他

ANSI/EIA#748とは異なる規格として，分野ごとに定められ，部分的に援用されているものがある。品質に関してはISO9000，リスク管理に関してはオーストラリア，日本の規格がある。しかし，統合的なものではない。

また，関連する個人資格や大学教育に関連する標準としては次のようなものがある。ABETは米国における工学系大学教育課程規格であ

り，単なる大学卒業認定ではなく，プロジェクトを担当できる資格を認定している。日本でも，これにならった資格を準備している。また，PMPは，現在，評価が定まっている有力なものである。

これらの標準は相互に関連性をもったり包含関係にあるが，実質的には先行している米国の標準をターゲットとすることが多い。米国の政府や州の事業についてはPM資格を取得した管理者を必須条件とする傾向になっている。日本では，ようやく通産省が1996年の情報処理技術者試験にプロジェクトマネージャーの分類を取り入れたり，工学系学部における資格認定を開始した程度であり，国内資格の段階でも極めて不十分な取組にしかなっていない。

2.3　PMのタスク

PMは統合的な概念として整備されており，どのプロジェクトの管理でも，以下の四つの段階がある。

第一段階：プロジェクトを発足させ，目標を明確にする。

第二段階：プロジェクトの計画を立てる。PMは品質，時間，コスト三つの要素のバランスを考慮しなければならない。従って，この計画段階でそれぞれの要素については，詳しく規定する。こうした規定は実行段階で管理の基礎となる。

第三段階：プロジェクトの計画を実行する。この段階で，プロジェクトの進捗を管理する。フィードバックを与えたり，実績と計画との差異を調整したりする。

第四段階：プロジェクトを完了し，評価する。

PMにおいて用いる技術的な方法論として従来より重視されているものとして，スケジューリング，PERT，CMPなどの主として計画策定や配分に関する理論があり，その発想の原点には，大きなプロジェクトであっても，最初の段階で精密で理論的に確かなものを作成しておけば，あとは計画どおりの実施によりすべて解決できるとする考えがある。

しかし，多くのプロジェクトでは，下請けから資材が思うように入手できなかったり，計画通りの要員が得られないなどの不確定要因を多く含んでいる。このような不確実性はコスト，時間などを見積もりと異なる値とすると同時に，顧客の満足度を減じる極めて大きな損失を与える。従って，現在では，大規模なプロジェクトや生産においては，計画にともなう不確実性を考慮したシステム設計が重視されており，SCM（Supply Chain Management）においても，納期の遅れの的確な予測，危険性のある計画に対する代替案の作成などの機能を重視している。

ここで特筆すべきことは，従来のスケジューリングを中心とした計画を重視していたと言え，これに対して，現在プロジェクトの実行と評価に重点が置かれていると言える。

2.4　PMの課題

PMをソフトウェアにより実施し，システム管理する大きなメリットとしては，静的な分析結果の提示機能ではなく，状況に応じて動的にプロジェクトを最適なものへと導いていく機能を備えていることである。これを人的な機能で実行するのではなく，ソフトウェアにより自動化することにより，迅速で的確な代替案の提示が可能となる。このような動的なプロジェクト管理の主要な課題としては，次のようなものがある。

(1)　情報システムの整備

PMにおいては動的な計画の管理が必要とな

り，即時的，分散的な情報の収集と分析が不可欠である。

(2) アカウンタビリティ

すでに述べたEVMS，D/B，CMのほかに，FPI (Fixed Price Incentive) がある。このFPIは，主として資材などを調達する場合の契約関係を円滑に進めるための方法論であり，固定価格をもとにした契約に達成コストに比例したインセンティブ（逆にペナルティの場合もある）を与えるものである。

(3) リスク管理

プロジェクトを成功させるように，リスク管理は極めて重要である。リスクの原因である設計エラー，技術力不足や，災害，要員のモラルなどが評価対象となり，これらを定量化することが求められる。PMは究極のところリスク管理であると言われる。

2.5 PM用ソフトウェア

PMは適用される産業や部門が多岐にわたっているために，全体的な像を描きにくい側面をもっている。従って，成功した事例や企業での実施経験が大きな役割を果たす。しかし，一方ではPMで用いられる技術的な手法や管理技法などは，全く新しいものではなく，生産管理などの分野で従来より適用され，評価が定まっているものが多い。そのため，PMを実行するためのシステム，ソフトウェアの設計は，ある意味では見通しのよいものとなっている。

現在，主として米国においてPMソフトウェアが市販されており，安価なものは数400ドル程度であり，高価なものでも数千ドルである。代表例を次に示す。

Primavera System社のSureTrak V1.5

Primavera System社のPrimavera Project Planer

Microsoft社のProject98

PMソフトウェアの基本部分である，管理科学（オペレーションズリサーチ）における数理モデル解析機能に関しては長い歴史をもっており，すでに完成されているものも少なくない（もちろん，モデル化の適合性や解析の精度は別の問題である）。また，文書や図表の作成，管理に関しても分散システムの普及により，以前よりは各段に利用環境は改善されており，共通的なデータさえ整備されていれば，実行そのものは容易となっている。また，PMソフトウェアの目的とする主要な部分が，説明可能性にあるため，文書の作成や図表，GUIによるプロジェクトの現状把握となっている。

3．情報インフラ整備の方向性

3.1 PMと情報インフラ

品質管理や環境保全においても企業内部の情報インフラを整備すること，ならびに情報のフローや出力システムの構成を明確にすることは行われているが，これらの目的は製品の品質保証や環境政策など，いわば目的が明確である。これに対して，PMの場合には，設備投資などの計画，実施管理，および事後の評価まで含んでおり，しかもその全過程で情報インフラ，情報フローと密接な関わりをもつことになる。また，時間的，空間的に関連し影響する範囲は相対的に大きなものとなっている。従って，より構造的なアプローチが必要となる。

現在よく議論されている二つのキーワードはオープンネットワークとコラボレーションである。トヨタ自動車は，2000年より電子商取引をするための部門を強化するとともに部品調達のためのネットワークをGMと共同運営するなど，インターネット時代を意識した事業を拡大

していく計画である。GMはすでにe-GMとよばれるインターネットビジネス推進の組織を構成している。共同のネットにより，GM，トヨタの双方の系列会社からの部品調達が可能となり，大きな影響を与えることが予想される。現在のところ，インターネット経由による部品や製品の調達は，この分野で先進的な役割を果たしている米国においても少なく，セキュリティの問題や決済方法など課題が存在している。しかし，VANなど閉じたネットワークであればこのような問題が解決できるため，米国国防総省の調達システムでは入札を希望する企業はこのネットワークを用いている。今後，PMにおいても調達における業者の選定，情報の交換，あるいは顧客との情報の交換など，極めて多量の情報が相互に伝送されることが予想される。従って，日本企業へのPM導入に当たっては，このようなオープンネットワークにより取引，企業間のコラボレーションをどのように形成するかが大きな課題となる。

次に，PMにおいては情報を収集する情報インフラの整備が，導入段階において，比較的重要な課題になるのではないかと予想される。特に，本論文で強調している点は，品質管理や環境保全の国際標準を導入する場合とも共通する点であるが，完全な情報システム（特に，コンピュータを中核とする自動化システム）を最初から追求するのではなく，現状の情報インフラ，情報フローを正確に位置づけすること，企業の経営戦略の中で標準化を意識した取り組みがなされることの意義があるとする点である。このような漸進的なアプローチはPMが円滑に立ち上がる条件であり，プロジェクトの失敗を防止する現実的な解決策である。

3.2　情報インフラ整備の現状

一般に，情報システムにより管理する課題に関しては，情報管理に関しては整備されていることが前提となっている。しかし，企業の多くは形式的な情報化は実施しているが，目的にあった情報化に推進については極めて遅れているのが現状である。

このような情報を収集し解析するインフラ整備の重要性は，常に指摘されていることであるが，多くの事例で次のようなことが指摘されている。

(1)　システム構成の7割以上が情報インフラの整備

各セクションからの情報を収集する機能が整備されていないために，その選択を行なうこと，LANなどインフラを整備することに多大なコストを要する。

(2)　半自動システムが少なくない

同様の理由で，データ交換が，電子化されている部分とそうでない部分とが混在している。発注，納入がファックスで実行されている場合も少なくない。

(3)　データの標準化がなされていない

電子データ交換（EDI: Electronic Data Interchange）の規格（フォーマット）が標準的でなく，自社内部で運用しているケースが多く，外部との交換ができない。

(4)　組織分担があいまい

データが共通化されていない影響として，その管理主体があいまいとなるため，効率的な収集と利用権限などが不明確となる。

(5)　情報化投資の戦略があいまい

情報機器の構成に焦点が集中し，タスクに応じた情報化投資がなされていない。

しかし，このような問題はPMに限らず一般の情報化投資に付随する問題であると同時に，

これを一挙に解決しないと実施できないと判断することにも問題がある。具体的には，情報インフラを整備する場合の効果分析を最初に実施すべきであり，最終的に実施の大きな影響を与えない投資は見送ることが必要である。実際に，現場の経験と勘により判断された結論が，極めて現実的であり即応的であるケースも少なくない。

また，日本ではEDIの標準化は極めて遅れているため，現実的な解決として，自社まわり，あるいは業界内部のデータ標準化を前提とすることも必要であろう。

データ交換を電子化する必要性は従来より強調されているが，多くの下請けが中小企業で情報化投資の余力がないこと，さらに，調達を行なう企業のプロトコルが異なる場合には，それらすべてに対応する必要があり，従来，大きな問題として指摘された，いわゆる多端末化の現象を引き起こすもととなる。従って，ファックスなど，従来の手段でも確実にデータ収集できる方法を前提とすることも必要となる。

3.3　日本企業における情報化投資の課題

日本企業において一般的に情報システムの高度利用が進まない理由として，次のような点があげられる。

(1)　セキュリティ

オープンシステム化により，企業秘密が社外へ漏れる危険性を重視する。また，一般的な意味で新しい試みを実施に移すことに非常に消極的であり，他社のあと，あるいは業界の様子を見ながら進行することが多い。

(2)　システムダウン

コンピュータメーカは金融機関など大手のメインフレームの顧客を中心にビジネスを展開した歴史があり，顧客の社会的信用の反映としてコンピュータシステムを特注で納入する，システムダウンを最大限回避することに力点が置かれている。

(3)　独自システムを好む

企業の秘密保護という目的で同じようなシステムでありながら特注の形で作成されるか，パッケージでも顧客にあわせて大幅に変更される。このため，市販ソフトウェアなど共通部分が少なくなり，コストアップとなる。

(4)　権限の委譲に未対応

それぞれのセクションで決済できる範囲が極めて少ないため，データが集中管理される，決済までの時間が長いなど，コンピュータ処理にメリットを生かせないシステム構成となっている。

(5)　トランザクション処理時間を重視

金融機関などがメインフレームを重視する理由として，地域に配置されている膨大な数のATMなどの機械からのデータを高速に処理する要求がある。トランザクションを処理するための前処理用の専用コンピュータ，これを格納する大型コンピュータといった構成を重視する。

このような課題をすべて解決するには，時間，コストを要するが，手近な解決策として市販のソフト（Software off the shelf）を多用すること，アウトソーシングを進めること，およびソフトをアドイン化して資源管理の方式をとることなどの政策が必要であろう。特に，市販ソフトを多用することは，米国ではソフトの標準化とともに主流となっているため，日本だけ内製的に作成するメリットはない。

4．プロジェクトの最適化

PMにおいては，定められた期間に計画が完

了することの他に，コスト削減，人員配置の効率化などの課題が存在する。一般的な顧客満足度の基本をなす納期，コスト，品質などの条件に相当するものである。この場合，計画の全体の規模が大きくなる可能性があること，時間やリソースの管理を全体にわたって実施することが必要であることなど，通常の単発的な投資案件などと異なる側面をもっている。また，すでに述べたことであるが，システム開発の受注などのケースでは，計画全体のアカウンタビリティを保証することが必要であるなどが特徴となっている。

このようなPMの方法論については，従来より個別的な管理ツールや管理手法を中心として議論がなされているが，モデル分析と最適化と関連して述べた研究が極めて少ない。最近，生産管理などの分野で，キャッシュフロー会計などと関連してコスト計算を現実的なものとし，意思決定と直接的に結びついたものとする方法論が展開されており，PMに関しても，このような視点からのアプローチが重要となっている。

以下では，プロジェクトを分析する場合のモデル分析の手法をまとめるとともに，プロジェクト全体の最適化を行う場合にGA，GPを用いる方法論を提案する。

4.1　モデル分析

現実に進行するプロジェクトを管理する能力と同時に，プロジェクトの評価（完了時刻，コスト，品質）を行うシステムも不可欠である。このような目的でシステム全体を分析する方法として，サブモデルによるモデル分析が有効である。例えば，最近，製品製造における資源の調達から製品販売までの全体をモデル分析する手法として，Cohen[13]により提案されている方法がある。この中では，数理モデルを中心としてモデル解析を実施し，特に，解析的な結果を最大限用いることが進められている。数理モデルをどのように構成するかは大きな議論であるが，複雑な数理モデルが必ずしも適切な予測や評価を与えるものではないこと，シミュレーションなどの直接的な手段は時間やコストの面から大きな問題があることなど，モデル分析の方法を簡単にし全体の見通しを良くすることが重要である。PMにおける数理モデルをサブモデルとして構成した場合には，次のようになるであろう。

(1)　フローの評価

待ち行列モデルによる解析であり，特に，待ち行列網を積形式の解析解により特徴づけること，分解原理で巡回待ち行列へ帰着させることが用いられる。

(2)　最適化

従来の線型計画，非線型計画，条件付き最適化，多目的計画などの問題を解くツールを利用することができる。PMにおいてもコスト評価や資源管理などにおいて最適化理論の適用が必要とされるが，プロジェクトの提案や進捗管理においては，その比重は小さいと言える。むしろ，最適化理論よりはリスク分析の新しい手法などの管理的な側面が重視される。

(3)　不確実性

価格変動，為替変動，調達の信頼性，海外生産とリスクなどが解析の対象となる。現在のところ，統計的解析が主流である。

(4)　情報共有

外部企業への情報提供をどの程度まで行うか，あるいは，契約関係においてコスト削減のためにどの程度のメリットを提供するかのインセンティブ解析が必要となる。

4.2 GAによるPM最適化

同時に異なるパラメータ，条件のもとでシミュレーションを実行していることになる。この実行結果の良否も最終的な出力により計測できるので，どのようなパラメータ，条件の組み合わせがより望ましいかを検出することができる。学習の方法として，GAを用いることが考えられる[14]。GAの詳細については省略するが，現在のPMの場合に 条件として設定している数値の変更や数値パラメータを，最適なものにする方向に改善することができる。

PMの構成案の１つに注目しながら，その処理時間や操作までの待ち時間などが計測されているので，これらの計測結果を１つの総合的な性能指標（例えばQi）として計算する。この性能指標の大きな案ほど，良い改善案を与えると言える。このようなQiに従って，個体を順位付けしておく。

次に，順位付けの高位のものから２つの個体（ストリング）を選んで，図１に示すような交叉処理（crossover operation）を行う。その結果，新しい２つの個体が発生するが，これを下位の２つのストリングと置き換える(この結果，下位の２つのストリングはプールから除外される。このような操作を繰り返すことにより，操作のたびに優秀な性能をもつストリングが，プールのより上方に残ることになる。最後に，これら上方のストリングのいくつかを検討して，BPRの案として採用すればよい。

なお，交叉処理だけでは，個体にかたよりが生じるおそれがあるので，一定の確率で意図的にストリングの一部を乱数で入れ換える処理をする。これを突然変異（mutation）とよんでいる。なお，交叉処理の際に，親に相当するストリングをどのように扱うか，交叉後の個体の数をどの位置におくかなどが検討されおり，ルーレット戦略など有効な方法が提案されている。

以下，これらをアルゴリズムとしてまとめておく。

ステップ１

乱数を発生して個体の初期値として与える。

ステップ２

個体ごとの適合度を計算する。適合度の計算の根拠となるモデル分析においては，解析的な方法もあるし，シミュレーションなどの計算時間を要するものあるいは複雑な計算も可能である。

ステップ３

個体を選択する確率にはさまざまな取りかたがあるが，ルーレット戦略では適合度に比例した確率で個体を選択する。

ステップ４

個体を適合度の順に整列する。適合度の大きな個体から２個づつを取り出して交叉処理を行ない，新しい個体を生成する。この新しい個体は，集合の中で相対的に適合度の低い一つの個体と置き換えられる。

ステップ５

突然変異の確率に任意に選択された個体のビット位置を乱数により置き換える。個体が２進数の場合にはビットの反転となるが，10進数の場合には，９までの任意の整数で置き換えることになる。

ステップ６

一定の回数だけを適用して終了する。これに達しない場合にはステップ２へ戻る。

次に具体的な適用方法を示す。GAを用いたPM最適化においては，PMを特徴づけるパラメータをGAにおける個体として位置づけ，個体を具体的に表現する数値の並び(ストリング)としてプールに格納しておく。このストリングは多くの場合，１とゼロのいわゆる２進数で表

現されるが，われわれが実施した実験では10進数でも，ほとんど支障無く動作することが確認できている。従って，パラメータをそのまま10進数としてストリングに置き換えることにより，問題が簡単化できる。

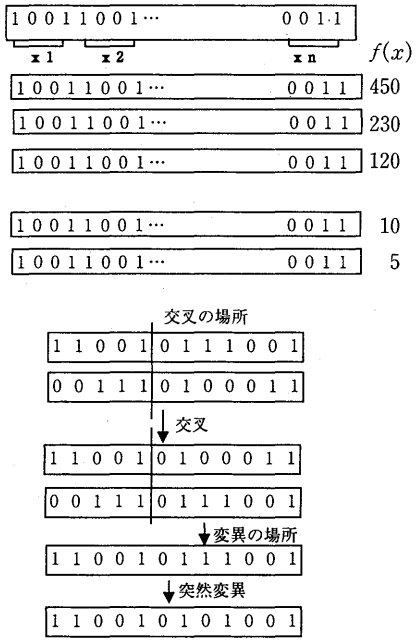


図1　GAの基本操作

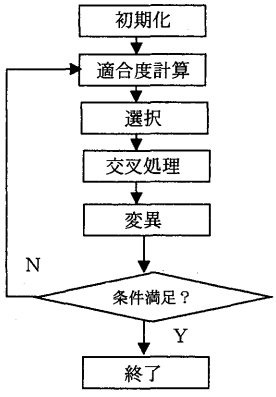


図2　GAの適用によるPM最適化の原理

4.3　GPによるPM最適化

(1)　基本的な考え方

GPはGAの遺伝子型を拡張し，構造的な表現を扱えるものである。通常，個体は木構造で表現される[15]。ここでは，次の例に示すような関数形によるアクティビティを仮定しておく。これは木構造として表現される。

$$X(t+1)=5X(t)+8X(t-1)X(t-2)$$

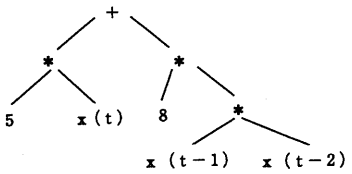


図3　GP個体としての木構造

以下では，すでに過去のデータを用いてシステムを最適化するための材料が準備されており，これをもとに最適なシステム構成を学習により求める問題を仮定する。

（ステップ1）初期個体の発生

乱数を用いて初期の木構造を個体の数だけ発生しておく。この場合，木構造が意味を持つようにスタックカウントを用いて検査しておく[16]。

（ステップ2）適応度の計算

それぞれの木構造（個体）に対して演算を実行して，その結果に応じて能力の高さである適応度を計算する。具体的に，適応度は出力である判断が実際に観測されるデータと，どの程度一致するかにより求められる（学習過程）。

（ステップ3）選択

個体を選択する確率にはさまざまな取りかたがあるが，ルーレット戦略では適合度に比例した確率で個体を選択する。

（ステップ4）交叉処理

適応度の大きい2つの個体を取り出して，適

当な位置で交叉処理を行い，新しい２つの個体を生成する[16]。この新しい２つの個体により，適応度の小さい個体を置き換える。この操作を規定回数で繰り返す。

（ステップ５）突然変異

木構造が局所的な最適値に収束するのを防ぐために，一定の確率で，個体のプールにある任意の木構造の一部を置き換える。葉の部分を他の葉で置き換える，あるいは任意に生成した木構造で置き換える。

一定の世代数まで，ステップ２からステップ５までの手順を繰り返す。

(2)　GPによるPM最適化

PMの計画段階では，プロジェクトを分解し，プロジェクトの完了に必要なすべての作業をリストアップする。次に，各作業をどんな順番で実施すればよいかを決め，パート図，IDEFなどの手法により記述する。こうした作業(アクティビティ)のフローはワークフローと考えて良い。同様に，作業の管理もワークフロー管理と考えて良い。

現在のワークフローソフトウェアは，ワークフローが非常に簡単で明確的な場合に有効であるが，ワークフローが複雑で処理順序の制限が低い場合に柔軟性があまりないという欠点がある。言い換えれば，動態的に最適なルートを生成できない。GP手法がこの領域に利用される可能性がある。言い換えれば，GP手法はワークフローソフトウェアと連携し，動態的に最適なルートを生成できる。

複数のアクティビティを経由して最終結果が得られる場合に，どのような配置が適切かを求める(処理順序の制限が低い場合)。システムはいくつかのサブシステムへと分解されていると仮定すると，サブシステム内部のアクティビティの種類は限定されるので，組合せ問題をGPにより解く。サブシステムの性能評価の尺度としては，コスト，信頼性，処理時間の総合値をとる。例としては，あるワークフローに四つのアクティビティA，B，C，Dを含む場合を考える。処理順序の制限は三つである。

制限１：

AはDの前に実行しなければならない。

制限２：

A，B，C，D全部実行しなければならない。

制限３：

B，Cは連続あるいは並行的に実行する。

以上の制限があまり厳しくないので，満足する選択肢が多い。ある時点で，どのようなルートで最短の時間で文書を処理できるかという問題をGPによる解決できる。

以下は，具体的にGPによるルートの改善の方法を提案する。

(a)　フローの個体表現

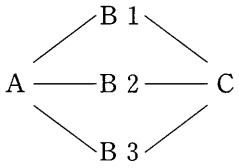
一般的に，ワークフローは以下のような四つのエレメントを含む。それぞれのエレメントに対する個体表現をここで提供する。左はノードによる表現であり，右はGPにおける個体表現である。

ノードで表現　　個体表現

縦続処理（Serial processing）

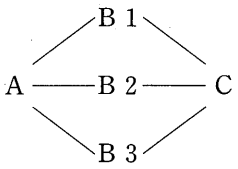
A１－A２－A３　　S０NNNE０

並行処理（Parallel processing）



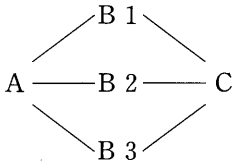
S１NNNE１

条件付き分岐 (Conditional branching)



S 2 N N N E 2

並行分岐 (Parallel branching)



S 3 N N N E 3

なお，ここで，個体におけるＳ，Ｅは分岐の開始と終了，Ｎはノードの記号である。記号には，ノードを特徴づけるプロパティが付随する。更に，ワークフローでは，データ(data element)からの読み取り，書き込みを含む。データエレメントをもつ場合は，次のように定義する。

df＝(di, ni, par {read, write})

データ　ノード　パラ　読み取り　書き込み
エレメント　　メータ

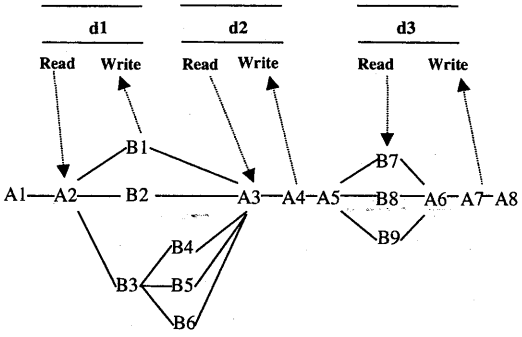


図４　GPによるワークフローのモデリング例

(b)　個体の初期値

・乱数でＥ１，Ｓ１，Ｅ２，Ｓ２，Ｎを接続した系列を生成する。

・この系列がワークフローを表現しているかを検査する。具体的に，Ｓ－Ｅのペアが矛盾なく含まれているかを検査する。

・もしも，矛盾がある場合には個体の初期値としない。条件を満足すれば，個体の初期値とする。そうでない場合は最初の手順へ。

個体数は，探索する範囲のバリエーションを考慮して，1000程度とする。

(c)　遺伝的操作

(1)　交叉処理

二つの個体の部分を相互に入れ替えて子孫を生成する操作を交叉処理と呼ぶ。

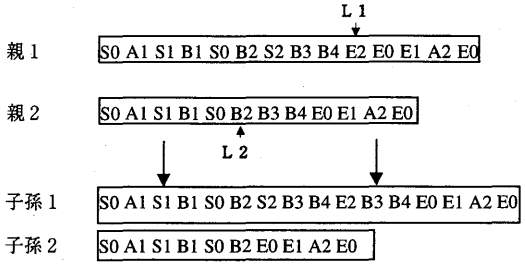


図５　交叉処理

実際の交叉処理は次のように行う。

・親１，親２の開始記号（例：Ｓ１）の数をＮ１，Ｎ２とする。

・親１の途中の位置Ｌ１を乱数で選択する。

・このＬ１までの終了記号（例：Ｅ１）の数をＤ１とする。Ｍ１＝Ｎ１－Ｄ１とする。

・親２の最後の場所から逆に，開始記号の数を求め，Ｄ２とする。Ｍ２＝Ｎ２－Ｄ２とする。

・Ｍ１＝Ｍ２の場合には，二つの親を交叉しても，矛盾ない（Ｓ１－Ｅ１ペア）個体を生成出来る。

(2)　突然変異

ランダムに選択した個体のランダムな場所を別の要素で置き換える操作を突然変異と呼ぶ。図６に例を示す。

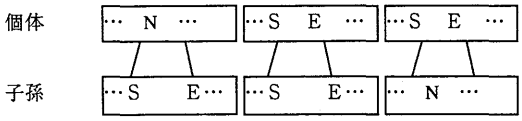


図6　突然変異三つの種類

5．むすび

本論文では，PMを企業で実施する場合の課題と問題点について，情報インフラ整備とワークフローの視点から分析し，そのありかたと活用課題を議論した。具体的には，PMの現状と主要タスクの実行における情報インフラの位置づけ，およびシステム構成の方向性を議論した。また，最適化において，従来の解析方法を統合する形でGA，GPを用いる方法を提案した。

今後，リスクマネジメントの実際，事例分析などを進めるとともに，プロトタイプを構成し課題を検討する予定である。

参　考　文　献

(1) J.R.Meredith, J.Mantel and J.Samuel, Project management, John Wiley & Sons, 1995
(2) PMI, A guide to the project management body of knowledge, PMI, 1996. 邦訳, PMbok guide 和訳版プロジェクトマネジメントの基礎知識体系, エンジニアリング振興協会, 1997
(3) EIA, ANSI/EIA#748-98 Industrial guidelines for earned value management system, EIA, 1998
(4) 日本規格協会, JISハンドブック64 適合性評価 1999, 日本規格協会, 1999
(5) ISO, ISO10006 quality management guideline to quality in project management, 1997
(6) 中村, ISO/JIS-Q-10006 プロジェクトマネジメントにおける品質の指針とその解説, 日本規格協会, 1999
(7) PMI, Project & program risk management, PMI, 1992
(8) PMI, Principles of project management, PMI, 1997
(9) PMI, Project management case book, PMI, 1997
(10) PMI, Project management software survey, PMI, 1997
(11) Q.Fleming and J.Koppelman, Earned value project management, PMI, 1996
(12) DoD, DCMC (Defence Contract Management Command) : Earned value management implementation guide revision 1, Department of Defence, 1997
(13) M.Cohen and H.L.Lee, Strategic analysis of integrated production distribution systems: Models and methods, Operations Research, Vol. 36, No.2, pp.216-228, 1988
(14) D. E. Goldberg, Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Los Altos, California, Morgan Kaufmann, 1989
(15) 伊庭祥志, 遺伝的プログラミング, 東京電機大学出版局, 1996
(16) Y.Ikeda and S.Tokinaga, Approximation of chaotic dynamics by using smaller number of data based upon the genetic algorithm, Trans. IEICE, Vol.E83-A, No.8, 2000