

48-S 005

情報処理システムのネットワーク 構成に関する調査研究

昭和 49 年 3 月

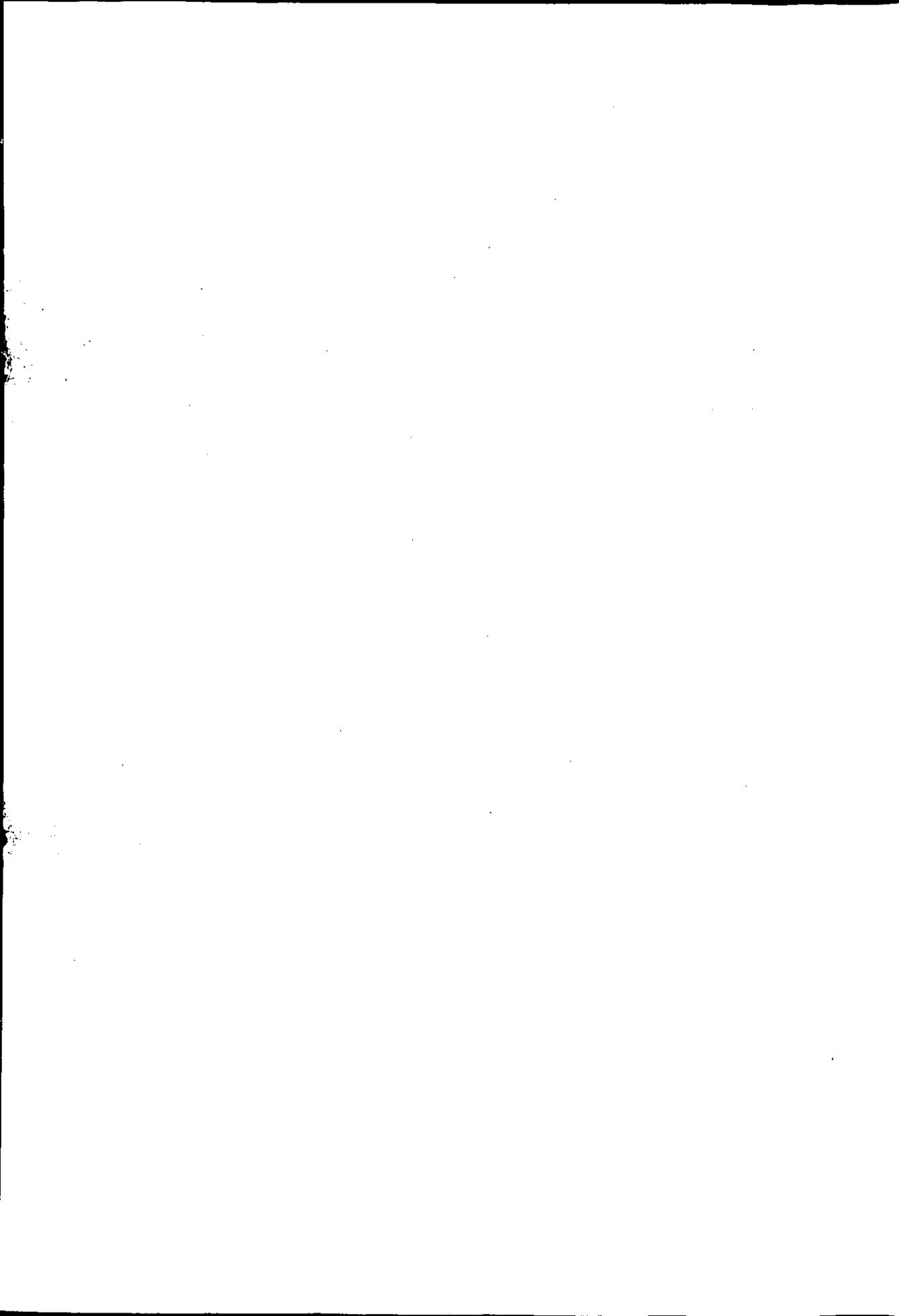
JIPDEC

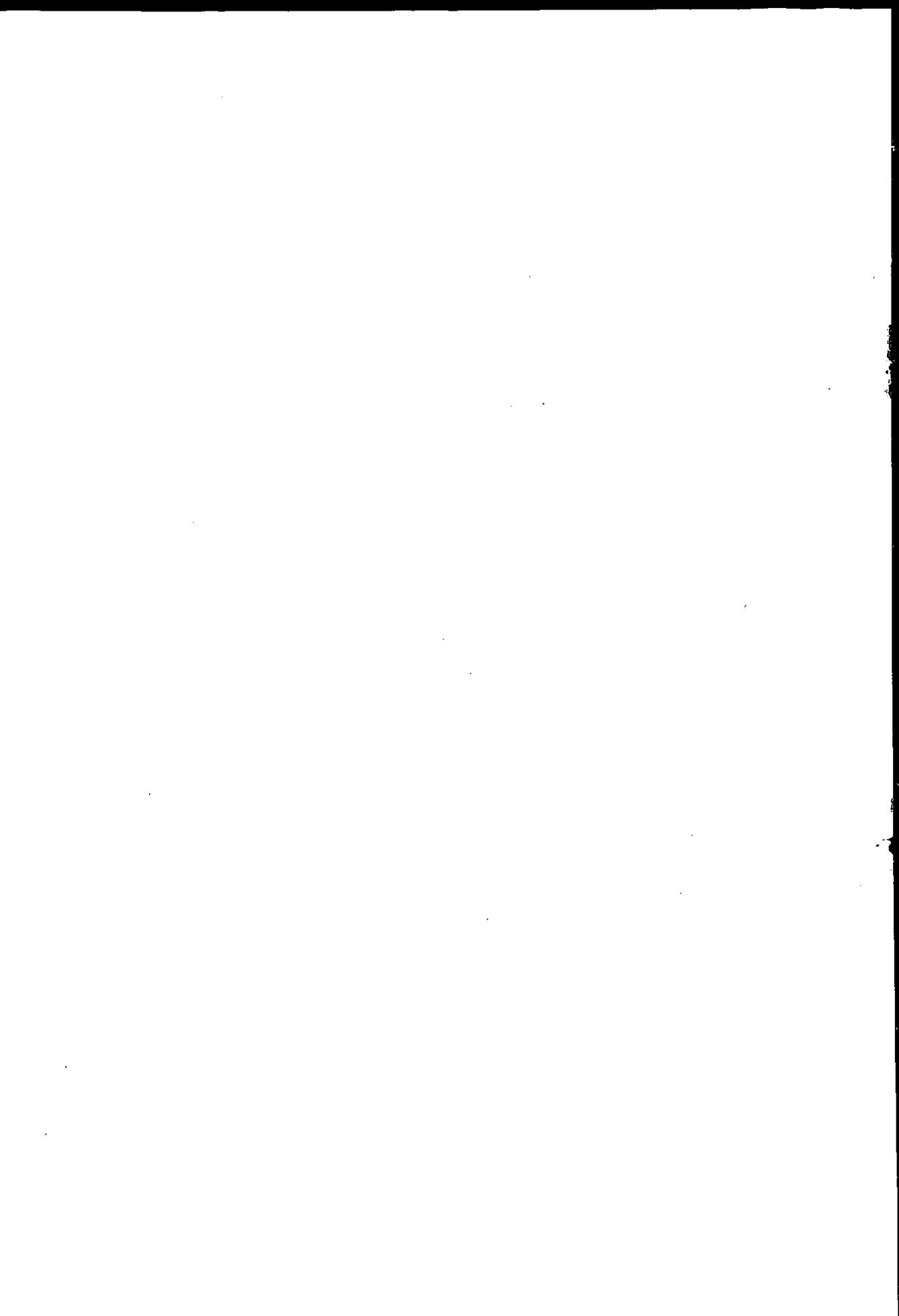
財団法人 日本情報処理開発センター

JIPDEC



この報告書は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて昭和48年度に実施した「コンピュータ・ネットワーク・システムの研究開発」の成果の一部をとりまとめたものであります。





序

経済の成長と情報社会の進展にともなって著しい変貌を遂げつつある産業界において、経営者が常に安定した企業経営を維持していくためには、経営のための関連情報を十分に活用して適確な意思決定を行なう必要があります。

当財団では昭和43年度以来、このような経営のための関連情報を必要に応じて経営者に提供する、いわゆる経営情報システムの研究をとりあげ、コンピュータを有効に利用して合理的な経営情報システムを確立するための調査、研究を実施してきました。

昭和48年度には、その一環として、情報処理システムの機動性、信頼性の観点からコンピュータをネットワーク状につないで構成した情報処理システムの機能を考察し、とくにコンピュータ・ネットワークを形成したときの効果について理論・模擬実験の両面から検討しました。

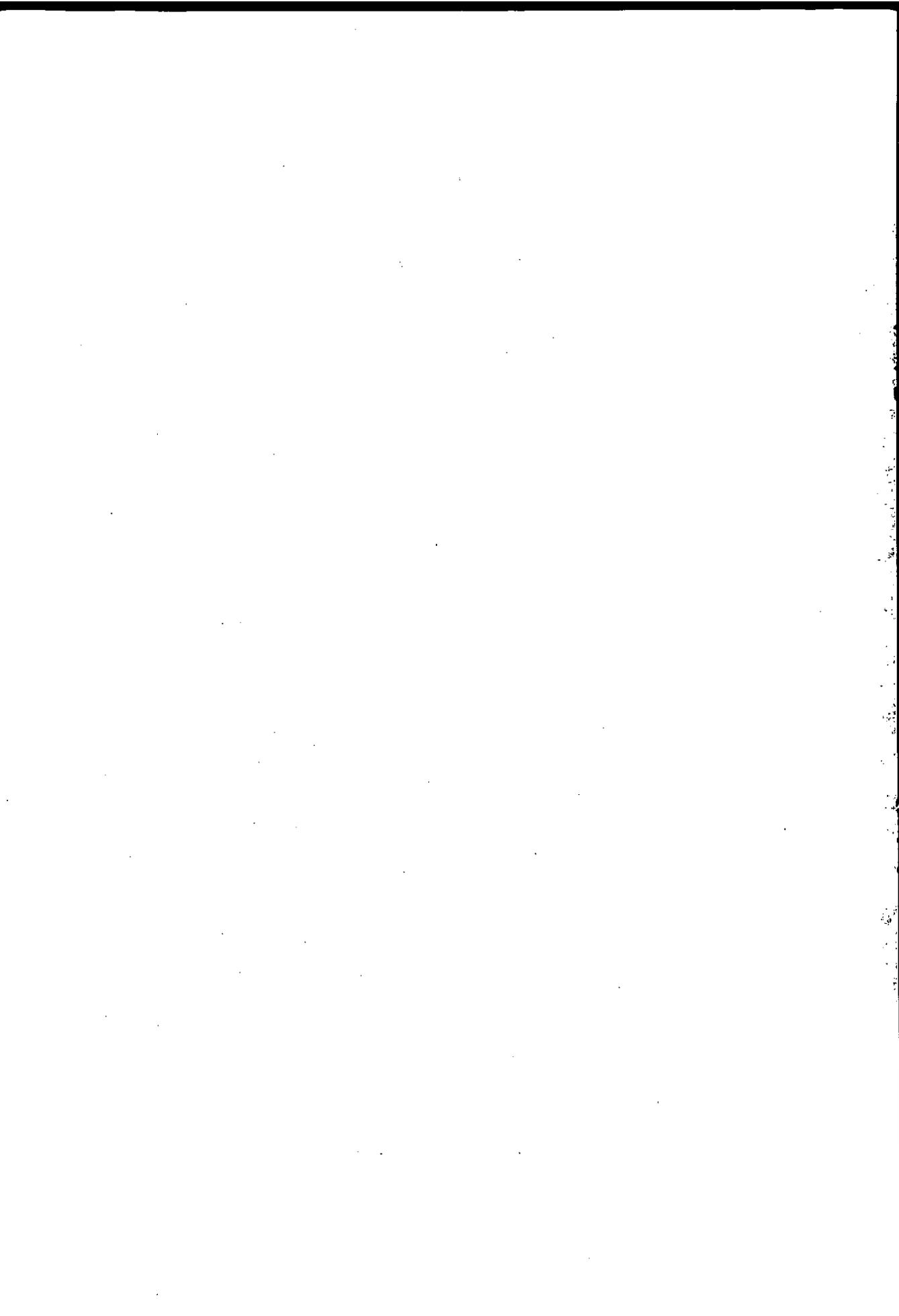
その結果として、コンピュータ・ネットワークの情報処理システムを構成するにあたっては、個々のコンピュータに分担させる仕事の内容を、十分に勘案することが肝要であり、たとえば処理時間は短いが大規模の記憶容量を必要とする事務処理用コンピュータと、記憶容量は少くすむが比較的長い処理時間を必要とする科学技術計算用コンピュータを、連繋することはきわめて有益であるとの結論を得ました。

ここに今年度の研究実施にご尽力ならびにご支援を賜わった、黒川一夫、東口実、成田誠之助、高森寛、白井五郎、水谷芳史の各氏および関係各位に心より感謝の意を表しますとともに、この報告書が各方面に活用されわが国情報処理産業の発展の一助として寄与できれば幸いに存じます。

昭和49年3月

財団法人 日本情報処理開発センター

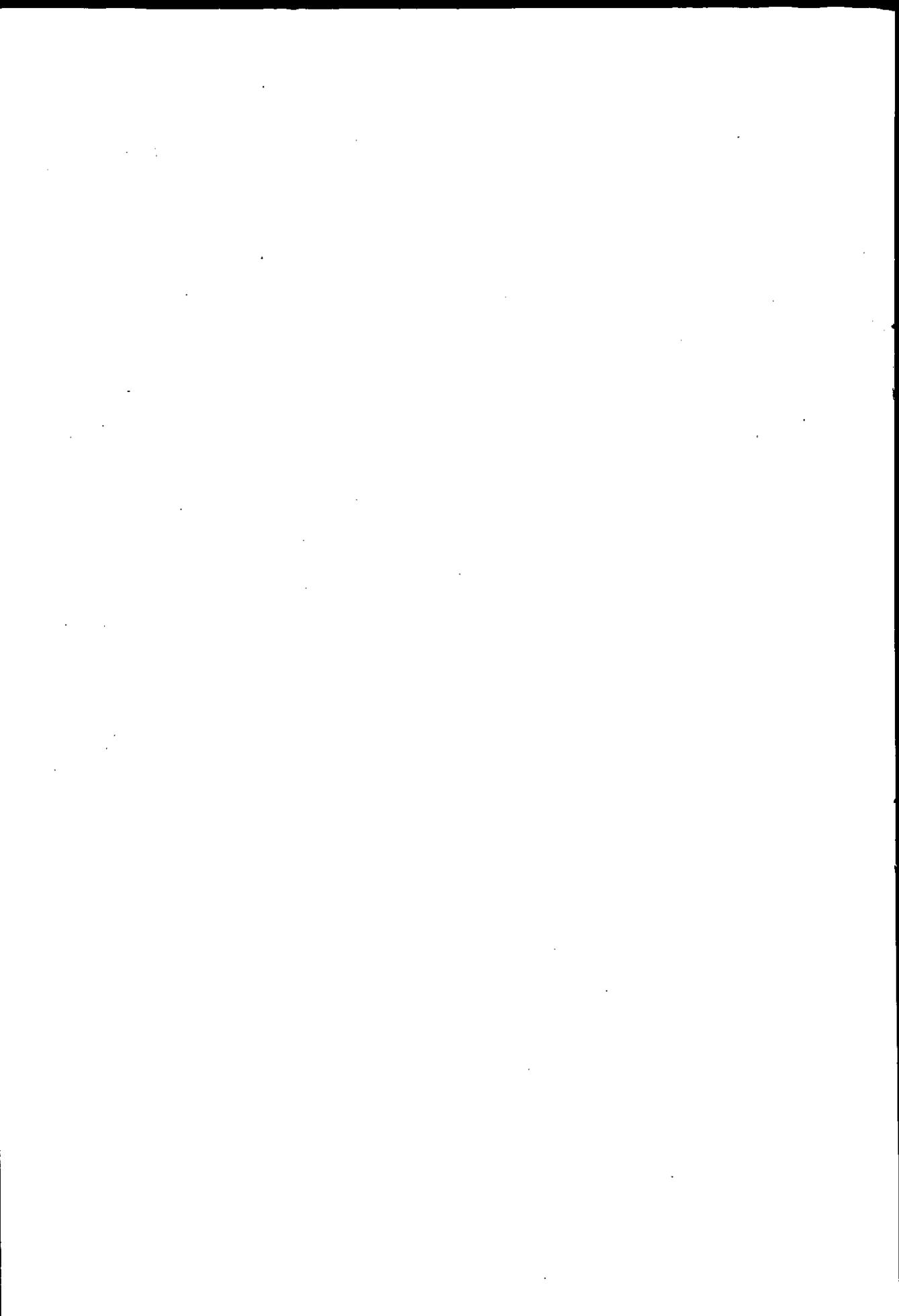
会長 難波捷吾



情報処理システムのネットワーク構成に関する調査研究

目 次

1. 総 論	1
1.1 研究の目的	1
1.2 報告書の概要	2
2. コンピュータ・ネットワークの分析	3
2.1 ネットワークの概念	3
2.2 コンピュータ・ネットワークの目的と問題点	14
2.3 コンピュータ・ネットワークの活用例 - McROSS について	27
2.4 コンピュータ・ネットワークの設計および運用における解析上の 諸問題	31
3. ネットワークの構成例	35
3.1 コンピュータ・ネットワークの事例	35
3.2 通信システムにおけるネットワークの事例	46
4. 事例研究	51
4.1 シミュレーションによるコンピュータ・ネットワークの考察	51
4.2 共同研究開発におけるコンピュータ・ネットワーク	58
5. 今後の課題	69



1. 總 論



1. 総 論

1.1 研究の目的

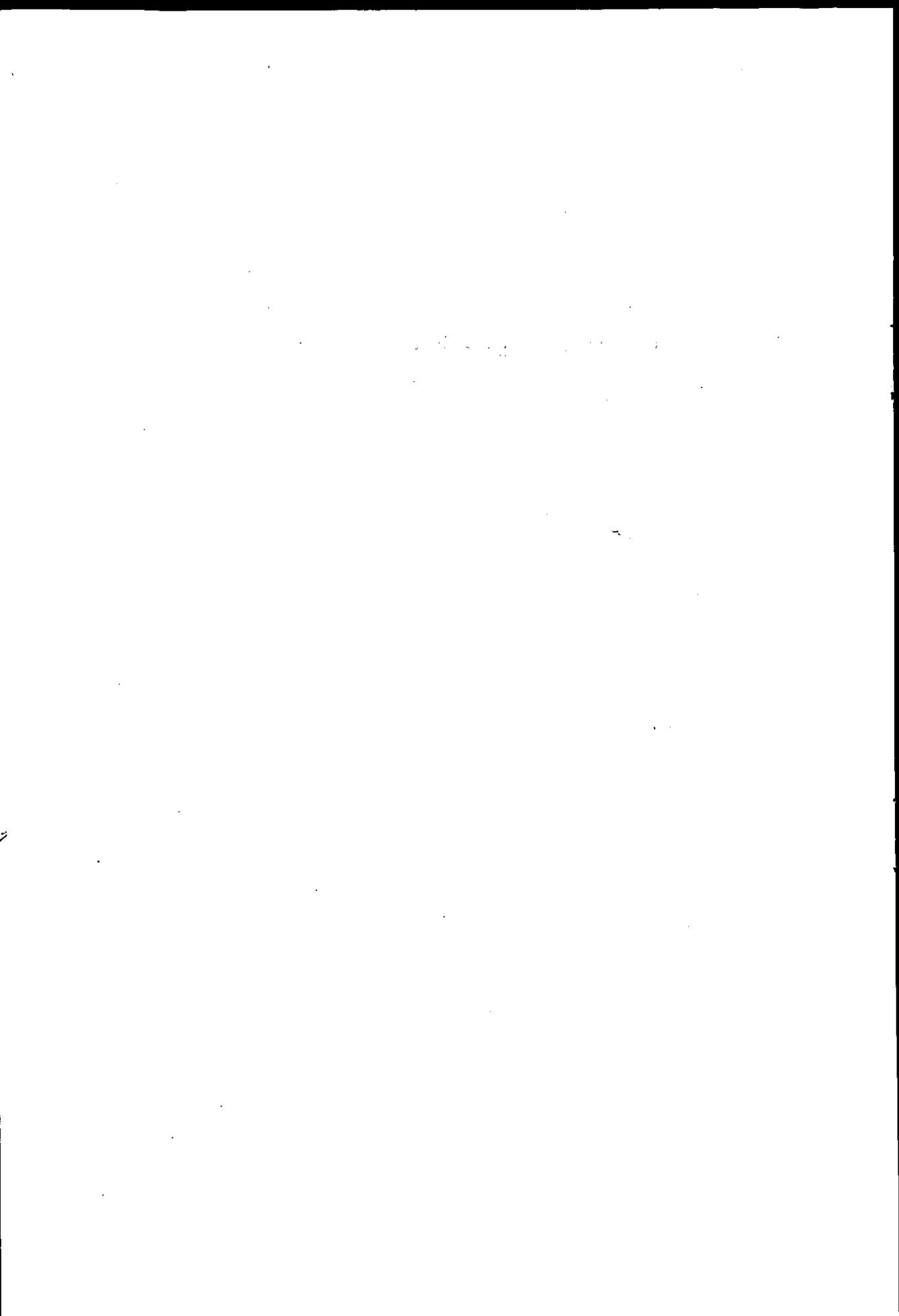
大規模な組織を管理・運用するための情報処理システムが果さなければならぬ使命は、トップ・マネジメントから現場の管理者にいたる、すべての意思決定者に適確な情報を都合よく提供することであり、情報の価値は、その情報を利用した意思決定者の行動が組織の管理、運用に効果を発揮することによって評価される。とくに時々刻々変動する組織を管理、運用するための情報処理システムにおいては、情報提供の適時性と正確性のかねあいに重点を置いて情報の評価を行なうべきであり、そこに、情報処理システムでコンピュータをネットワーク状に連繋する意義がある。しかしながら、情報処理システムの機動性、信頼性、使いやすさなどを考慮してコンピュータをネットワーク構成にすることの合理性は、いまのところ、定性的な考察に基づいて導かれた概念にすぎない。

当財団では昭和43年度以来、経営のための関連情報を必要に応じて経営者に提供する、いわゆる経営情報システムの研究をとりあげ、コンピュータを有効に利用して合理的な経営情報システムを確立するための研究を実施してきた。昭和48年度には、情報処理システムのコンピュータをネットワーク構成にすることの合理性を強調するために、動態的な組織を管理、運用するための情報処理システムをモデル化してコンピュータをネットワーク構成にしたときの効果について理論、模擬実験の両面から検討した。その結果として、コンピュータ・ネットワークの情報処理システムを構成するにあたっては、個々のコンピュータに分担させる仕事の内容を十分に勘案することが肝要であり、たとえば、処理時間は短いが大規模の記憶容量を必要とする事務処理用コンピュータと、記憶容量は少くすむが比較的長い処理時間を必要とする科学技術用コンピュータを連繋することはきわめて有益であるとの結論を得た。

1.2 報告書の概要

報告書は5つの章からなっており、各章でそれぞれつぎのような内容を取りまいている。すなわち、第1章「総論」では、情報処理システムのネットワーク構成に関する調査研究の目的を記述して、さらにこの研究事業の背景を明らかにしている。第2章「コンピュータ・ネットワークの分析」では、まずはじめに既存のネットワーク・システムを解説して“ネットワーク”という言葉の概念を明確にするとともに、階層システムとネットワークの構造的、あるいは、機能的な違いを指摘し、ネットワークを構成する難しさを述べている。さらに、ネットワークの1つの形態として、コンピュータのネットワーク構成をとりあげ、複数台のコンピュータをネットワーク状に連繫することの意義について検討を加えている。すなわち、わが国においてコンピュータ・ネットワークを構成する必要性はなにかということ考察している。また、コンピュータ・ネットワークを構築するうえで解決しなければならない諸問題をリソース・シェアリングやロード・シェアリングといった面から整理するとともに信頼性の面から、コンピュータ・ネットワークを考察している。第3章「ネットワークの構成例」では、ネットワークの構成例として、コンピュータ・ネットワークの代表的な事例と通信システムにおけるネットワークの事例を紹介している。第4章「事例研究」では、コンピュータ・ネットワークにおけるロード・シェアリングの効果を模擬実験的に考察している。さらに、研究開発を実施するとき利用するコンピュータについて、具体的なモデルをとりあげ、コンピュータをネットワーク状に連繫した情報処理システムの効果を考察している。第5章「今後の課題」では、各分野におけるコンピュータ・ネットワークの評価基準を明確にすることの重要性をのべ、今後解明すべき技術的問題点を列挙している。

2. コンピュータ・ネットワークの分析



2. コンピュータ・ネットワークの分析

2.1 ネットワークの概念

2.1.1 ネットワークの定義

現代では、「ネットワーク」という言葉は、「システム」、「組織」、「情報」などと同様にかなり気軽に、ときには、恣意的にさえつかわれている一般用語といえる。このような広範な意味を包含する概念をもつ言葉は、あまり一般化・抽象化されていくと、かえって内容がうすめられ、表面的になり、あまり意味のない言葉になってしまう。たとえば「システム」という言葉はあまりにも一般化された抽象的な概念になってしまったため、世の中の物理的事物や、社会や組織を問わず、「ハサミ」という簡単なものから「日本語」という複雑な言語体系まで含めて、何から何まですべてシステムと呼んでさしつかえないようである。なにか複雑で、把えにくいものはすべてシステムと呼んでしまう傾向すらある。

「ネットワーク」という言葉も、そのような危険がないとはいえない。広い意味でいえば、なにか複雑個の要素とか対象が集り、それらが何らかの意味で連結あるいは関連しあっているならば、ネットワークと呼ばれている。ネットワークは、もちろんシステムでもある。

ここでは、うゑに述べたような一般的な日常語としてのネットワークではなく、もっと内容や意味を限定して、現在の複雑でしかも巨大なシステムのうち構造的な特性として普遍的に認められるネットワーク、またはネットワークの構造特性を顕著に備えたシステムを考察する。

いくつかの対象物が連結しているものは、たしかに、もっとも理解しやすいネットワークであるが、ネットワークと呼ばれるためには、その対象物間の連結が、かならずしも電線や棒による物理的な連結である必要はない。たとえば、1台の

プロセス制御用のコンピュータがプロセスのいくつかの変数がある設定値に維持しようとコントロールを行なっているとする。このコントロールはきわめて重要なので、コンピュータが故障したときのためにそなえて、もう1台、別のコンピュータが待機するようなコンピュータ・システムを構成すると、このコンピュータシステムはネットワークを構成しているといえる。すなわち、物理的に連結した構成物だけからネットワークが構成されるのではなく、機能的な連結関係によってもネットワークは構成され、各構成物は必要に応じていつでも結びつけるようなソフトウェア上の相互補助関係であってもよい。構成物の連繋関係も、構成物Aは常に構成物Bと連繋しているというような固定された連繋でなくて、時には構成物Aと構成物Bの連繋を切り離して、構成物Aと構成物Cが連繋するというように各構成物が動的に連繋するようなシステムも、ネットワークと呼ぶ。電力系統のようにどこかで故障が起きたとき、その故障による混乱が系統内の他の部分に波及しないように故障箇所をただちに切断遊離できるよう、常に準備してあるメカニズムも、ネットワークの重要な機能のひとつである。コンピュータ・システムにおいてもいくつかのコンピュータを回線で連結しただけで、コンピュータ・ネットワークと呼んだところでたいして意味のないことであろう。コンピュータをネット状に構成することによって、なにか特別なメリットが得られなければ、コンピュータ・ネットワークの意味はまったくなくなってしまう。

一般に複雑で大規模なシステムを理解・把握し、また設計したり操作したりするにあたっては、システムを構成する構成要素間の関係構造についての知識が必要となる。システムが稼動するメカニズムを観察すると、通常、大別して2種類の顕著な構造上の特徴が認められる場合が多い。そのひとつは、要素と要素の間を垂直に関係づけるピラミッド型の構造、すなわち、「階層構造」(Hierarchical structure)と呼ばれるものであり、もうひとつは要素を水平に関係づける構造である。要素と要素の垂直関係とは、どちらかが他に対して優位に立っている関係であり、一方が他方を制約し、操作し、そのアクションに介入する関係である。水平な関係とは、そのような上位、下位の関係ではなく、お互いに対等の

関係で、しかも、補助し合ったり、物事を共用しあったり、交換しあうなどのかたちで連繋しあう関係である。どんなシステムでも構成要素間にはタテの関係とヨコの関係とが存在しており、タテの関係がとくに顕著なシステムと、ヨコの関係がとくに顕著なシステムがある。前者を「階層システム」呼出し、後者を「ネットワーク」と呼ぶことができよう。われわれは、このように、階層システムと対比してのネットワークというものを議論したい。

2.1.2 階層システムとネットワークの差異

階層システムについては昭和47年度の報告書¹⁾においてくわしく論じてあるので、ここでは要点を述べるにとどめる。

階層構造は、意思決定型、問題解決型、あるいは、目的追求型のシステムに多く存在している。階層システムはシステム内の頂点に権限が集中しているので、単頂点型(uninodal)システムとも呼ばれることがある。システムが存続し成長し、環境に適応したりあるいは目的を追求していくために行なっていかなければならない情報処理や問題の解決などが複雑で膨大なため、システム内で発生する情報処理を一挙に実施することは不可能である。そのため、システム内の各要素は分業して、それぞれ、一部の与えられた情報処理や問題の解決に専念する。すなわち、システムが対処すべき複雑でしかも膨大な問題を小さな単位に分割し、各部門では、分割された小さな問題の解決に専念する。しかし、分業が行なわれるところには、かならず、それらを統合あるいは統制する必要が起り、その統合、統制の仕事に専念する部門なり役割の存在が必要となる。そのような統合・統制の役割を効果的に実施するためには、統合する部門には統合される各部門や構成要素の問題解決なり意思決定の効果、コンフリクトなどを監視しながら、必要に応じて、それらのアクションに介入できる優先の権限が与えられねばならない。

1) 階層構造の情報処理システム(47-S-001)日本情報処理開発センター

ここに、上位・下位の関係が成立している。システム内の各構成要素は、上位レベルの意思決定機構で設定されたアクション制約や資源配分の枠組のなかで、与えられた目的を追求すべく最善をつくす。もし、あるレベルの意思決定機構が対処しなければならない問題や情報処理があまり複雑であったり、手に負えないほど情報量が膨大であれば、その問題はさらにいくつかの小問題に分割され、それぞれを下位レベルの意思決定機構に分担・專業させていく。このような過程を通して、システム内の意思決定機構は分化し、階層のレベルも増え、ピラミット型の構造のままシステムは成長していく。それとともに、システムの問題処理、意思決定の能力も拡大していくのが普通である。このような構造になっていると、システムに要求される情報処理の量に応じて、システムが拡大したり、縮小したりという柔軟性、環境適応能力も備わることになる。

階層構造をとったシステムの代表的な例として、企業組織や軍隊組織など人間が形成するシステムがあげられる。オートメーション化された生産工程やたくさんミニ・コンピュータで形成するコンピュータ・コントロール・システムなどにも階層構造の特徴がはっきりと現われている。宇宙船によって人間を月に着陸させ、地球に帰還させるシステムも、機械、宇宙上、地上コントロール・ステーションの装置、人間によって構成された階層システムといえる。

階層システムのような単頂点型システムでは、個々の構成要素や要員の自律的（autonomous）な活動はかなり制約される。システム全体の目的追求がまず優先し、そのために個々の要員が奉仕するという仕組みになっている。企業や軍隊の組織も、組織全体の繁栄なり目的が優先し、組織の個々の要員の福祉と繁栄は全体の繁栄に依存するという前提を基盤として成り立っているといえる。その基盤にたって、権限がピラミットの頂点に集中し、下位レベルにおける要素間の不一致やコンフリクト（conflict）が上位レベルの権限で調整、統合される。

2.1.3 ネットワークの構成

システムと呼ばれるもののうち、階層システムのような単頂点集中的（unino-

dal) に上位、下位の強い力関係を骨子とした構造で機能していない、もうひとつのカテゴリに属したシステムが存在している。それは、システムを構成する要素に、できるかぎりの自律的な活動を認めるようなシステムであり、ひとつの構成要素から他の構成要素の活動への制約や介入をできるかぎり回避するようなシステムである。個々の構成要素の利益や目的よりも優先しなければならない、全体の目的のようなものがあるわけではなく、もしシステムの目的があるとすれば、それは個々の構成要素に奉仕することが目的であるようなシステムが存在する。このようなシステムにおいては、ピラミッドの頂点はない。頂点にあっても多数の頂点 (multinodal) があって、それらの関係は上位、下位といった階層システムでみられるような関係ではない。このような構造の特性を強くもつシステムを、「ネットワーク型システム」、あるいは単に「ネットワーク」と呼んでよいであろう。ここでは以後このようなシステムを「ネットワーク」と呼ぶことにする。

ネットワークには、たとえば、都市システムがあり、ここでは、サラリーマン、主婦、企業、学校など多種多様の (heterogeneous) 構成要素がそれぞれ独自の目的を自律的に追求し、活動する。各構成要素の多種多様な目的が容易に達成されるほどよい都市システムということになる。また企業の組織と比較すると、大学の組織もネットワーク構造に近い。すなわち学生は大学の目的に参画したり、奉仕するために大学というシステムに連っているわけではないし、教授の間も上位下位の階層構造によって全体の目的を追求しているというよりは、かなり自律的にそれぞれ研究活動を行なっている。

このように、ネットワークの特徴のひとつとして、まず構成要素の多種多様性 (Heterogeneity) があげられよう。また構成要素の行動目的も多様で統制をとりにくく、行動も予測しがたいということもあげられる。しばしば、各構成要素はお互いに競合や対立の関係にさえあり、システムの一点に向って求心的に力が働くというよりは、むしろ外にむかって発散的、分散的に力が働くような傾向がある。それにもかかわらず、それら多種多様な構成要素の集りがシステムとして

のまとまりを維持するのは、それら構成要素がひとつの資源を共用したり、物々交換し合ったりしてなんらかの意味で相互補完の関係にあるからである。

人間の造った機械や機械システムやマン・マシン・システムなどにおいては階層システムが多い。たとえば、自動車を動かす場合にもそれを運転する人間がピラミットの頂点となって機能するマン・マシン・システムとして設計されている。しかし、人間がつくったネットワーク・システムもいくつか存在している。電力供給のためのネットワーク、大量輸送のためのネットワークなど公共的性格をもったネットワークである。これらは物理的なハードウェアが大きな網目の形状をなしているからネットワークと呼び、そこになんらかの深い意味があるわけではない。もしそれだけでネットワークと呼ぶなら、ラジオの配線回路網も、婦人が頭にかぶる網もネットワークである。しかし、ラジオの配線回路も自動車の電気系統も階層的に機能している階層システムの一部である。鉄道システムや電話回線システムをネットワークと呼ぶのは、それらがマン・マシン・システムとして機能するとき、マン（人間）の集団がネットワーク型のシステムであるからである。それらの人間は、多種多様な構成要素として、自律的に、統制しがたく、しかも、予測しがたい活動をしている分散的集団といえる。

2.1.4 ネットワークを構築する難しさ

一般に階層システムにくらべて、ネットワークのほうが、複雑で取り扱いにくいシステムといえる。ネットワークは多種多様な集団に奉仕するため、どのような形態にしたらよいかの評価基準も多種多様で、評価の測定も困難な事が多い。またネットワークはその境界を明確にしにくい。輸送ネットワークにしる、流通ネットワークや情報ネットワークにしる、それらを物理的なハードな構成を取りあげて、よいシステムかどうかを考察してもあまり意味がないことである。物理的な構成要素が独立して単独で機能しているわけではない。通常は、物理的な構成要素は、不確定多数の顧客とかユーザとかいった、人間を含めたより拡大されたネットワークの一部として考えなければならない。しかし、輸送ネットワーク

において、ある時刻に電車に乗っているお客だけをネットワークに含めて考えるのか、それともその輸送ネットワークのお客になる可能性のある潜在的な人々をすべて含めたネットワークを考えるのかという問題は残る。この問題はネットワークを計画する段階では、とくに、重要な問題となる。たとえば、ある地域に現在住んでいる住民数からその地域における輸送の需要を割り出して輸送ネットワークを計画し、建設するが、そのネットワークが完成すると、その地域の住民数が増えてしまい、その地域における交通事情はネットワーク建設以前よりも悪化してしまうということがしばしばおこる。これなどは、ネットワークを計画する段階において、ネットワーク境界の認識が不明確であったり、不適切であったことから生じる問題であると考えられる。

ネットワークが挙動する動的な側面においても、ネットワークは階層システムより理解し把握し、取り扱うことが難しい。目的追求型の階層システムにおいて働いている因果関係のループは負のフィード・バックである。

階層システムの下位レベルに存在するループほどアクションとその効果がフィードバックされる時間間隔、すなわち、管理サイクルは短い。また上位レベルの問題解決、あるいは意思決定ほど、そのアクションの効果が長い期間にわたって持続する。すなわち、上位レベルではそれだけ戦略的な問題解決となる。

しかし、階層システムにおけるフィードバック・ループはいずれも負のループであり、均衡点に向かって力が働く安定的な行動傾向を示す。ネットワークにおいても、各構成要素がお互いに動的に作用しあっている。ひとつの構成要素の自律的活動が他の構成要素の反応を引き起す。これらの反応の連鎖がいくつもループを構成する。しかしこれらのループは負のループとは限らない。ときには、正のループが強力に働き発散的な挙動になる。電力供給のためのネットワークでも、いくつかの発電所間で電力エネルギーの流れの振動を起こしたり、発散的傾向を示したりする。このため、ある程度の階層構造による統制も必要となる。動的にみると、ネットワークにおいては、無数の正・負のフィードバック・ループが錯綜していることが多い。

2.1.5 ネットワークが機能するためのメカニズム

前項までに、ネットワークには階層システムのようなピラミッドの頂点がないこと、自律的な活動をしてコントロールを強制しにくい多種多様の構成要素をシステム内に含むこと、それらにとかく発散的、分散的な傾向があり、動的もときには正のフィードバック・ループを構成してネットワークの挙動を不安定にする傾向があることなどの特性を論じた。しかし、多種多様の、構成要素がお互いに結びつき関連をもちあって、ひとつのまとまったネットワークを構成するためには、各構成要素の目的追求を容易にしたり、しかも自律的に活動しやすくすることが必要であり、このための手段や基盤をネットワークが備えていなければならない。通常、それは、物質とか設備とかなどの資源であることが多い。電力供給のためのネットワークとか水道やガス供給するためのパイプライン・ネットワークなどは気体、液体の物質や電気エネルギーがネットワークを構成している施設の中を流れ、無数の顧客やユーザは思い思い各自の目的に応じてそれを使うことができる。いっぽう電話回線や道路におけるネットワークでは顧客がつかうのはネットワークにおける施設のほうであり、顧客はそれらを共用する。自由主義市場を舞台とする経済システムも、構成要素の自律活動と競合、相互補完を基本基盤として機能しているネットワークの1つと考えられる。

つぎにネットワークが動的に秩序だって機能できるためのメカニズムや条件を考察する。

まず第1に、電力供給のためのネットワークにおける電圧や周波数、あるいは経済のネットワークにおける価格のようなネットワーク内の各点における状態を単純に表現することができる基準変数(Reference Variable)のようなものが存在するとネットワークの機能を把握することが容易にできる。ネットワーク内の異なる点において、この基準変数の値に差異があると、それは一種のポテンシャル差を意味し、ポテンシャルの高いほうから低い方へ向って力が働き物質やエネルギーが移動する。ネットワークのすべての構成要素において、基準変数の値が

等しいときにネットワークは均衡状態になり物の動きは停止する。実際には、ネットワーク内の各構成要素は自律的に消費活動をしたりして、需要パターンも異なるから、均衡状態が長く持続することはほとんどない。しかし大切なことは構成要素の自律活動が指向している方向と均衡状態の方向とが一致しているということである。経済のネットワークにおいても、価格はネットワーク内の構成要素における需要と供給のバランスに関するインディケータであり、構成要素は価格に依存して需要や供給を自律的に調整する。このような自律的に調整する方向は資源の最適配分状態を実現する方向と一致している。すなわち、ある財やサービスに対する需要が減ると価格がさがり、生産者の利益が減る。そこで、利益を追求する各構成要素すなわち企業は、自律的にそれまでその財や生産やサービスの提供に使われていた資源を別の用途にむける。いっぽう、ある資源の供給が減ったりすると、その資源を用いていた財やサービスの価格が上昇するため、需要が自律的に調整される。同様に、電力供給のためのネットワークにおいても、需要と供給のバランスがくずれて供給過剰だった地点ではポテンシャルが上る。そのポテンシャルのインディケータが周波数であろう。ポテンシャルの高い方から低い方へ、すなわち、電力エネルギーの余っている地点から不足している地点への融通は、ネットワークの中央で計画されたり、意思決定されたりせず、ほとんど自律的に行なわれる。すでに指摘したとおり、ネットワークの各構成要素は自律的に働く機構になっており、お互いに相互補完的な関係にある。さらにその相互補完関係を円滑に機能させるための媒体や、基準変数のようなものがかならず必要となってくる。

ネットワークが円滑に機能を発揮するためには、すでに述べたように、まず相互補完関係が満たされる方向に各構成要素の自律活動が指向していること、さらに、全体的な均衡状態に各構成要素の力が働くというメカニズムが備わっているとか、水平方向の情報や物の流通が容易にできることが必要である。ポテンシャルの高い方から低い方へ力が働いたとしても、エネルギーや物質が流れにくい特性、すなわち抵抗が大きいとか、物が流れるときにかかる費用が高いといった特性を

もったネットワークはのぞましくない。したがって、構成要素と構成要素の間を結ぶパイプの容量が重要な問題となる。また各構成要素の自律的な活動はネットワーク内の他の構成要素の基準変数値などに関する情報に基いて行なわれるので、各構成要素間の情報の流れは円滑でなければならない。経済のネットワークでも、資源が十分あるのに不足しているという判断をしてしまうと、生産者と消費者の自律的な活動の方向とネットワーク全体で資源を最適に配分しようとする方向とが一致しなくなる。階層システムでは、上位レベルと下位レベル間の情報の流れがもっとも重要であり、横の流れはむしろ抑制したほうがよいことさえあるが、ネットワークでは水平方向すなわち横の流れが不可決な条件となる。

ネットワークにおいては、ネットワーク内における水平方向の物やエネルギーや情報の流れが容易にでき、しかも、柔軟性のあるものであることが望ましい。たとえば、交通のネットワークにおいて、ある構成要素すなわち地点から他の特定の地点に到達できる経路が1通りでなく、複数通りあれば利用者は選択の余地も多くなり、しかもある経路に故障などの機能障害が起きても別な経路をう回することができ、信頼性の向上にもつながる。このような構成要素間の経路の多重性は **multiple accessibility** (経路多重性) と呼ばれている。ネットワークにおいては、信頼性はもっとも重要な評価尺度のひとつである。

ネットワークにおける基準変数 (Reference Variable) は、ネットワーク内の各構成要素間の状態を均一にしたり、バランスの維持をしたり、資源の融通や配分を自律的に行なったり調整したりする機能の基盤となるものであるが、ネットワークとしての機能を維持するためにはこれだけでは不十分なことが多い。単にネットワーク内での資源の融通や配分といった問題だけでなく、ネットワーク全体として資源の調達が不十分となったり、不足したりする事態も生じる場合がある。たとえば電力供給のためのネットワークでは電力の需要がネットワーク全体の電力供給能力を上回ると、ネットワークの基準変数である周波数が基準値より下ってしまうということがおきる。また経済のネットワークにおいても、総需要が総生産能力(容量)を上回ると、ここでの基準変数である物価は基準値より上昇

してしまう。このような事態は各構成要素の自律的な活動だけにゆだねても解決できない問題である。経済のネットワークにおいて、ある資源、たとえば森林、が限られた量だけしかなく、これを各構成要素が自律的な競合関係で使ってしまったらたちまちその資源を使いつくしてしまうだろう。このようなシステム全体の問題の解決のためには、ネットワークにおいてもなんらかの階層構造を設定する必要になってくる。とくに、人間が介入したネットワークの場合には、通常、すべての構成要素の合意（consensus）のもとに、全体を統制する機構を設定しその機構は、要素の自律的な活動に介入したり、制約する権限を持つとよい。経済のネットワークでは、特定の財の消費を抑制するために、税金を課したり、貨幣の流量を調節して設備投資への資金の流れをコントロールしたりする機構が存在している。電力供給のためのネットワークでも、電力エネルギーはかなり自律的にネットワーク内を流れてはいるが、完全に自律的な電力エネルギーの移動だけにしてしまうと、送電の損失や発電効率などの面で損失が大きくなりやすいため、ネットワーク全体を統制する機構が存在し、ネットワーク内のエネルギーの流れを操作している。

ネットワークの中に階層構造が存在しても、上位レベルが直接下位レベルのアクションに介入することは少ない。通常は、上位レベルがネットワークの基準変数を操作することによって、下位レベルが自律的にその基準変数にあわせるという形態をとることが多い。たとえば経済のネットワークにおいて上位レベルは各消費者にある財の消費をおさえるような指示をするかわりに、財に税金をかけることで、財の消費を各消費者の自律的な行動にまかせる。このようにすることによって需要は自律的に抑制され、さらにそれに対応して生産も自律的に抑制される。もし、階層構造の経済システム、すなわち、中央計画経済システムであれば、各生産単位あるいは消費単位の生産量、消費量そのものを直接上位レベルが操作する。

通常、ネットワーク内の基準変数は、負のフィードバック・ループのなかにあり、この変数が基準値に近づき、ネットワークが均衡状態になるような力が働い

ている。このようにして、ネットワークを安定状態に保っている。

しかし、ときとして、基準変数が先のフィードバック・ループの中にはいる場合もある。たとえば、経済のネットワークにおいてある財の供給が不足すると、これに対応してその財の価値が上る。一般には、価格が上昇すると需要が抑制され、供給は促進されるのであるが、逆の場合もある。ある財の価格が上昇するということは、将来もこの財が現在以上に不足する兆候であると各構成要素が判断してしまい、需要がますます高まって供給がおさえられてしまう場合がある。その結果、価格の上昇がいよいよ加速されていく。このように、ネットワークも、複雑化していくと、基準変数を中心とした自律的な活動だけで均衡状態を指向するという単純なメカニズムの働きだけでは十分に機能できず、ときには壊滅的事態が起りかねなくなる。したがって、構成要素の自律的な目的追求に介入してまでも、ネットワーク全体の目的をまず優先させなければならない場合も生じてくる。したがって、どんなネットワークにおいても、ある程度の階層構造が認められるのが、むしろ、普通である。

2.2 コンピュータ・ネットワークの目的と問題点

2.2.1 コンピュータ・ネットワークの定義

すでに述べたように、ネットワークとは各構成要素が自律的に活動できるように連結したシステムであり、いろいろな分野にその例が見うけられる。1つの例として、コンピュータ・ネットワークがあげられる。コンピュータ・ネットワークは、複数台のコンピュータがIMP (Interface Message Processor) を介してお互いに結びつき、それぞれのコンピュータがネットワーク内にある各種の資源を自律的に共用しあっている。ここで共用される資源とは、単に処理装置や記憶装置などのハードウェアだけでなく、プログラムなどのソフトウェアやデータなども含まれる。

コンピュータ・ネットワークの構成は、集中形コンピュータ・ネットワーク

と分散形（あるいは分布形）コンピュータ・ネットワークの2つに大別される。集中形コンピュータ・ネットワークは1つのコンピュータがネットワーク全体の制御を行なう方式であって距離的に近い複数台のコンピュータが、お互いに結びついて構成されたコンピュータ・ネットワークで、入出力機器などを共用するような目的でミニコンピュータ同士が結びついて、構成されている場合がある。分散形コンピュータ・ネットワークは、ネットワークの制御をいくつかのコンピュータに分担させる方式で、ネットワークの規模が大きく距離的に離れたコンピュータ同士が通信回線を介して結びついており、お互いのコンピュータの資源を共用しあうような構成になっている。一般には、コンピュータ・ネットワークというのは後者の分散形コンピュータ・ネットワークのことをさしている。

コンピュータ・ネットワークは図2-1のように、HostコンピュータがIMP（蓄積機能をもつデータ交換用コンピュータ）を介して高速のデータ通信回線でネットワーク状に結合した構成をなしている。そして、もし N_1 のHostコンピュータから、 N_2 のHostコンピュータを使いたい場合には、まず、 N_1 のHostコンピュータで発生したメッセージを、 N_1 のHostコンピュータに対応した N_1 のIMPで、パケットに分割して、目的のHostコンピュータに対応したIMPすなわち、 N_2 のIMPまで、パケット単位に独立に伝送される。このとき、経路の選択は、 N_1 のIMPから N_2 のIMPまで最少の中継数になるようにしたり、またトラフィックの状態などを考慮して行なわれる。 N_2 のIMPに着いたパケットはふたたびここでメッセージに変換され N_2 のHostコンピュータに送られる。 N_2 のHostコンピュータで処理が終了したら、結果を送られてきた逆の手順で送りかえす。

このようにして、Hostコンピュータ間でメッセージを決められた応答時間内でしかもビット当たり最小コストでやりとりし、コンピュータ・ネットワークが構成される。なお現在稼動中あるいは計画中のコンピュータ・ネットワークについて、その構成や機能を表2-1に示す。

さらに、以降の項において、コンピュータ・ネットワークの目的とそれを達成

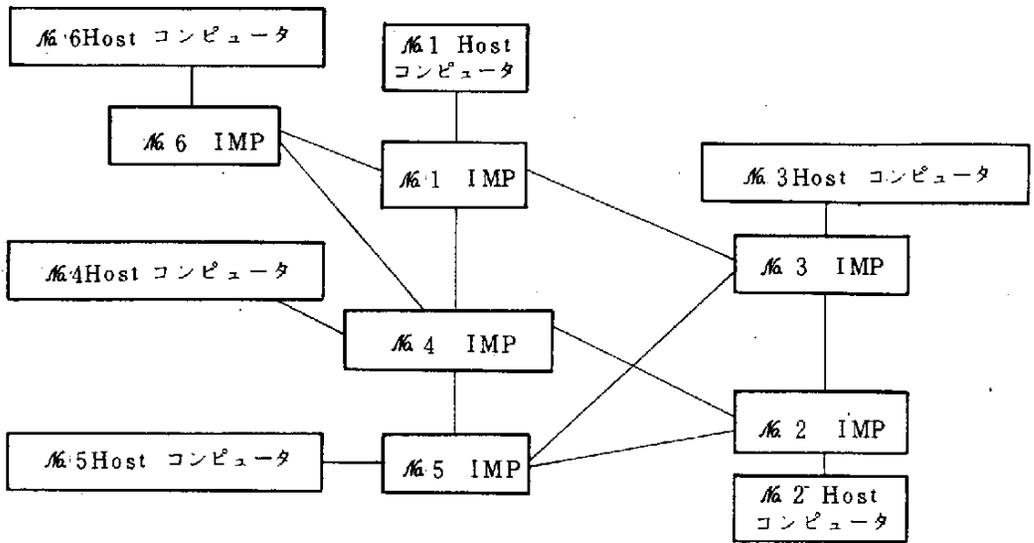


図2-1 コンピュータ・ネットワークの構成図

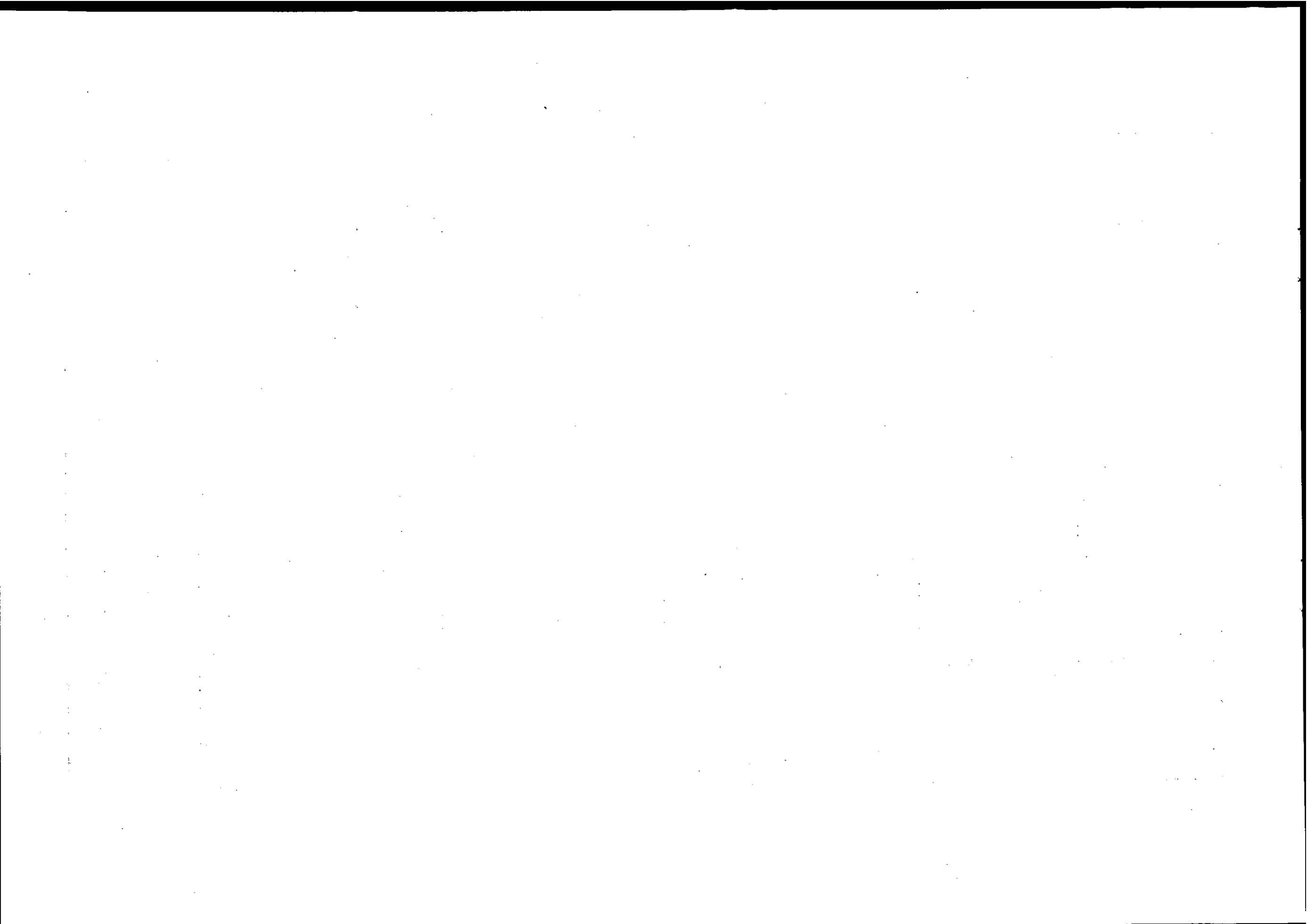
する過程で問題となる諸点について考察することにする。以下に述べるコンピュータ・ネットワークの目的と問題点は、すでにあるネットワークが建設されており、それがただちに利用できるという立場ではなく、ネットワークを構成する場合とネットワークを構成しない場合について両者を比較するという立場から考察するというアプローチをとることにする。なせなら、既存の、あるいは開発途上の特定のネットワークを中心に議論を進めることは、その利点のみを強調する結果に終始する恐れが多いこと、また経済的な諸要素を度外視して、コスト対効率比（Cost-effectiveness）にもとづく検討が不十分になる危険性が多いからである。以下、コンピュータ・ネットワークの目的（これはしばしばネットワーク化によってもたされる本来的な長所であると速断されているようであるが）とその問題点について項目別に考察することにする。

2.2.2 資源の共同利用とその問題点

コンピュータ・システムをネットワーク化する、主要で、しかも最終的な目標は、各種のプログラムやデータを、ローカルの利用者が利用するのとまったく同様な感じで遠隔地からも、その機能をそこなわずに利用できること、すなわ

表 2-1 代表的なコンピュータ・ネットワーク(1971年現在)

	形態	構成	ノード数	コンピュータの大きさ	データ伝送のインタフェース用コンピュータ	データ伝送の方法(プロトコール)	データ伝送に使用する回線	データ伝送の速度(bps)	データ伝送・モード	メッセージの形式	メッセージの大きさ	備考
ARPA (Advanced Research Project Agency)	分散形	異った機種	23 34	大きさもさまざなコンピュータ IBM360/67 POP 10 など	Honeywell DDP516	メッセージ・スイッチ方式	リースした回線 (公衆電話回線)	50000	アナログ	可変長	8095 bits	
CYBERNET	分散型	異った機種	36	大形コンピュータ CPC 6600 など	DCD 3300 PPU	メッセージ・スイッチ方式	リースした回線 (公衆電話回線)	100~40,800	アナログ	固定長	1024 characters	
DCS (Distributed Computer Systems)	分散型	"	9	ミニ・コンピュータ PDP 10	リング・インタフェース	混合方式	Twisted pair coaxial	200万~500万	デジタル	可変長	900 bits	
MERIT ネットワークのつながり弱い	分散型	"	3	大形コンピュータ CDC 6500, IBM 360/67 TBM 360/67	PDP 11	メッセージ・スイッチ方式	Telpack 回線 (音声通信回線)	2000	アナログ	可変長	240 characters	
OCTOPUS	混合型	"	10	大形コンピュータ CDC 6600, CDC 6700 など	CDC PPU	直結回線	Coaxial 同軸ケーブル	150万~1200万	デジタル	可変長	1208あるいは 3,780,000 bits	
TSS	分散型	同じ機種	9	大形コンピュータ IBM360/67など	IBM2701	"	DDD (音声クレードの公衆 通信回線)	2000~40800	アナログ	可変長	8192 bits	
TUCC	集中型	"	4	中形コンピュータ IBM360/40 など	IBM 2701	"	Telpack回線	100~2400, 40800	アナログ	可変長	1000 bytes	古い
フランス Cyclades (計画段階)	分散型	異った機種	13	大きさもさまざなコンピュータ IBM360/67, CDC6400 PHILIPS P1100 CII 10070 など	MITRA15		Pet T 専用回線	200万, 96000 50000				
イギリス NPL	分散型	"	27	大型コンピュータ	DDP-516	直結回線 メッセージ・スイッチ 方式		100万	デジタル	固定長	1024 bits	



ち、ハードウェアとソフトウェアの両者を含めた資源の共同利用というリソース・シェアリング (resource sharing) である。たとえば代表的なコンピュータ・ネットワークの例としてあげられる ARPA コンピュータ・ネットワークの場合にはつぎのような利用が計画され実施されている。

- MIT の MATHLAB の利用
- SRI の Theorem Provers の利用
- BBN の Natural Language Processors の利用
- リンカーン研究所のグラフィック言語 LEAP の利用
- カーネギ・メロン大学の会話形 ALGOL LC² の利用

また、これらのソフトウェアに関する情報をネットワーク内の利用者に提供するネットワーク・インフォメーション・センタ (NIC) を SRI に設置し、ネットワーク自身のメッセージ・トラフィックおよびネットワークの接続されている Host コンピュータのもつ資源についての利用に関する情報提供をおこなっている。さらに ARPA エージェンシから直接援助を受けていない外部の研究団体による利用計画として、

- 行動科学
- 気象科学
- 地震学

などが計画されている。

とくに後者の外部研究機関による利用計画は、たとえば地震学におけるように、原始データの発生がローカル的であり、また情報処理もローカルにおこなわれるいっぽう、全地域的な検討や情報交換が必要であるという必然性をもっており、これはネットワーク化の必然性にもなっている。これに対して前者の利用形態は各 Host コンピュータにおいて大量のマンパワー、多額の費用を注ぎこんで完成したやや特殊のソフトウェアを他の Host コンピュータの利用者がネットワークを通して遠隔地から利用できることを目的としている。しかし、このようなやや高度で特殊なソフトウェアに対する利用の需要が多くの他のネットワークにおい

でも ARPA コンピュータ・ネットワークと同程度に左右するかどうかは疑問視される面もある。とくに ARPA コンピュータ・ネットワークの場合は、通信回線の設置費に関しては国防省という強力なスポンサがあるため、経済性を最重点に考える必要がないこと、またこのネットワークの利用者は、とくに第一次の利用計画では、コンピュータの、ソフトウェアに関する専門家のみであることに注意する必要がある。さらに注意すべきことは、利用する資源（とくにアプリケーションウェア）が高度で複雑であるほど、遠隔利用者に対するその利用方法に関するドキュメンテーションが完備されていなければならない。これは次項でのべるコンピュータ負荷の均一化をはかるロード・シェアリング（load sharing）の場合と著るしく異なる点である。ロード・シェアリングの場合には、主としてコンピュータのハードウェア的な資源の相互利用であるから、コンピュータのハードウェアについておもに留意すればよいが、アプリケーション・ウェアが複雑なデータ・ベースの利用となると、利用者は、内容的にも精通する必要があり、この面からもドキュメンテーションの作成には、「利用者が遠隔地にいる」という事実に対して特別な考慮が払われなければならない。しかしながら、多くのドキュメンテーションの場合、アプリケーション・プログラムなどの内容を完璧に表現するということは限られたマンパワーでは事実上不可能に近く、利用者から作成者に対して電話による問合わせなどの補的手段によってドキュメンテーションの不備を補うことが必要になることも多い。また場合によっては、利用者が作成者の所属する機関に直接出向いて細部の内容についての質問をする必要性も出てくる。このような場合には、ネットワーク化の本来の目的、すなわち、遠隔地で利用できるという目標を完全に達せられないことになる。

さらに、このことに関連して、ネットワーク内の異なった Host コンピュータに所属する異なった研究者同士が集まって共同研究を行なうときのネットワーク化の意義について考えてみよう。このような共同研究の場合、共同研究の質的な内容にもよるが、多くの場合、研究開発には研究計画の粗案の打合せから出発して、細部にいたる研究開発、さらに報告書の作成という異なったいくつかのステ

ップを踏む必要がある。このような一連の活動のうち、研究開発が軌道にのった段階では個別に開発したソフトウェアや個々に収集したデータをネットワークを通して利用しあえるという点でネットワーク化の大きなメリットもあるが、研究の初期段階においては研究者同士が一堂に会して討議、検討しなければならないことが大部分である。また単純なソフトウェア・モジュールやデータ・ファイルの交換ではなく、より抽象的な情報（あるいは文書情報）の交換が不可欠であることも多い。また研究者同士のヒューマン・リレーションズが最重要であると考えられる段階もある。このように見えてくると、コンピュータ・ネットワークによる資源の共有や研究開発における利用にはそれ相当の準備のための努力（ドキュメンテーションの詳細化、プロトコルの作成など）が必要であり、これはネットワーク化による利点に対してマイナス的な要素ではないとしても、バイアス分（あるいはオフセット分）として常に考えておかなければならないことである。

さらに資源の共同利用を考えると、その利用頻度と必要な応答速度というふたつの項目に注意する必要がある。一般には、人間の本性として、頻繁に必要とし、かつ迅速な処理が必要なソフトウェアは自己のもつ資金を投じてでも自己で開発することを欲するであろうし、またその結果、経済的にも損はしないであろう。これに反して、利用頻度が少なく、またかならずしも迅速な処理を必要としないソフトウェアは、定形的な業務ではない仕事であるから、利用者にとっては、そのソフトウェアを利用する場合それ相当の利用のための準備期間をもち、また必要となればそのソフトウェアについての学習を行なうこともあろう。しかしながら利用者にとっては十分な準備のもとで適切に用意された入力データと適切な利用方法が理解されているという前提が成立しているときのみ、はじめてコンピュータ・ネットワークが役立ち、遠隔地においてわずか数秒のターンアラウンド・タイムで利用者に処理結果（あるいは必要とするデータ）を提供できるということである。すなわち、研究開発においてコンピュータ・ネットワークのメリットを考えると、問題の発生から解決までの各段階をとおして、役に立つのかということを考えなければならず、たんに研究開発における一連の活動のある特

定の限られた段階におけるスナップ・ショットでネットワーク化の利害得失を断定することは避けなければならない。

2.2.3 コンピュータにかかる負荷の均一化と問題点

コンピュータ・ネットワークの第2のメリットは、ネットワーク化することにより、特定のコンピュータにかかる負荷の増大を分散化すること、いわゆる、ロード・シェアリングにより利用率を高めることである。本来、コンピュータ・システムの選択は、そのコンピュータ負荷の大きさや質に対して十分な考慮が払われてなされるべきであるが、負荷はかならずしも時間的に一定のものではなく、季節や週間やあるいは時刻によって変動する。このことはコンピュータの処理能力の余裕が時間的に変動することを意味し、コンピュータ間における時間的にずれる処理能力の余裕を利用しようとするのがロード・シェアリングである。また平均的にはコンピュータにかかる負荷が大きくなって、特定のアプリケーション(たとえば大次元逆行列や炉心の解析など)はコアサイズ、コア・タイムのいずれも大きいので、もし、このようなジョブが入ってくると通常のジョブのターンアラウンド・タイムが大巾に延ばされてしまうということも多い。さらに、米国の全国的なネットワークでは、時差による負荷のピークのずれ(米国では4つの標準時間、カナダでは5つの標準時間が用いられている)を利用して、コンピュータ・ネットワークの効率をあげようとしている。

ロード・シェアリングを目的とする限り問題となることは、各Host コンピュータにはある時間帯相当の処理余裕が存在するという前提である。すなわち、各Host コンピュータにおいてジョブの処理順序を十分に調整しても、なお相当の処理余裕があることがネットワーク化の必要条件である。

ロード・シェアリングを目標とするコンピュータ・ネットワークの例としてCYBERNETコンピュータ・ネットワークについて考えてみよう。このネットワークは米国東海岸地域(ボストン、ニューヨーク、ワシントンD.C.)から西海岸地域(ロスアンジェルス、パロアルト)を結ぶ全米的な商業ベースのネットワーク

であり、CDCコンピュータによって構成されている。すでに述べたようにアメリカにおいては東西で最大3時間の標準時間のずれがある。したがって各Hostコンピュータ(CYBERNETコンピュータ・ネットワークではセントロイド: CENTROIDと呼んでいる)に接続されたTSS端末における利用者の需要は3時間のピークのずれが見込まれる。またTSSによるジョブのエントリーはバッチ処理と異なってコンピュータ負荷の増減に対する抑制効果を期待しにくい面が多く、この点ではロード・シェアリングによるハードウェア資源の有効利用(利用率の向上)は十分期待される。現在のところ、セントロイド間の情報伝送密度についての詳細なデータは報告されていないようであるが、各セントロイドにおける処理需要の急速な増大に対しては、回線の伝送容量を大きくするよりもむしろセントロイドにおけるコンピュータを大形にすることが盛んにおこなわれていることから見ても、ロード・シェアリングの効果をより多く得ようとするには各セントロイドにおけるジョブの処理需要があるしきい値以下であることが絶対的に必要であるように思われる。この点に関しては第4章においてより詳細な検討がなされるが、ネットワークにおけるジョブの処理需要(data rate)がネットワークの最大能力(100%のdata rate)に対して75~80%近くになるとネットワークにおけるジョブの処理遅れ時間は急激に増大する。たとえばARPAコンピュータ・ネットワークにおけるシミュレーション結果からみても、ジョブの処理需要が75%まではジョブの処理遅れ時間は約0.1秒程度であるのに対し、このしきい値をこえるとジョブの処理遅れ時間は急激に増大し100%のジョブの処理需要においてはネットワークの伝送容量にもよるが10倍程度(0.7~1.2秒)にも達する。

さらに注意したいのは、このシミュレーション結果は過渡的なものよりむしろ定常的な現象を主としたものであり、従って短期間であってもネットワークのジョブの処理需要が100%あるいはこの値を上まわれば、ジョブの処理遅れは急激に増大し、この過渡的な状態がジョブの処理需要の減少に従って落ちつくまでの間はロード・シェアリングの効果は期待できないことになる。

ロード・シェアリングを目標とするコンピュータ・ネットワークのもう1つの例としてMERITコンピュータ・ネットワークについて考えてみよう。MERITコンピュータ・ネットワークはミシガン州の3つの大学の異機種Hostコンピュータ(IBM360/67 2台とCDC6500 1台)を2000ボアの回線で結合したものである。通常、大学におけるジョブの処理需要は学期(Semester)の後半や年度末に集中することが多く、各大学におけるジョブの処理需要には相当強い相関がある。したがって意識的にこの相関を弱めるようなジョブのスケジューリングをおこなわない限り、ロード・シェアリングの効果を期待することは困難であるように思われる。また回線の容量に関しても、初期投資をできるだけ押えるために既存の2000ボアの回線(Telpak)を用いているなどして、いまだ実験的な段階にあり、今後コンピュータ間の結合を強めようとする動きはいまのところないようである。また内容的には判然としないが、教育用のコンピュータを結合する際に起るネットワークの運用面の問題が相当に難かしくなっていることが報告されている。これには当然ロード・シェアリングを行なうときの会計処理の問題も含まれてくると考えられる。

2.2.4 信頼性の向上と問題点

コンピュータ・ネットワークの目的がリソース・シェアリングであれ、あるいはロード・シェアリングであれ、あるHostコンピュータに属する利用者がHostコンピュータのもつ資源を利用したいとき、誤まりなく、確実にパケットの送受をおこなうことが出来るという保証が、コンピュータ・ネットワークの具備すべき必要条件であることは他言を要さないであろう。ここではこのようなネットワークの信頼性に関する従来の研究を概観し、あわせてその問題点を指摘することにしよう。

もっとも典型的なコンピュータ・ネットワークを考えると、それはあるHostコンピュータからそのIMPによってパケット化されたメッセージが通信回線によって目的地のIMPに伝送され、さらに目的地のHostコンピュータに転送され

て処理された後、処理結果は来たときと逆の経路を経て伝送されるという形をとる。したがってこのような経路を構成する要素に故障が生じたりあるいはメッセージの伝送誤まりが生じたときは、コンピュータ・ネットワークはネットワークとしての機能を果たすことができなくなる。

通信システムにおけるネットワークの信頼性を定量的に表現する尺度として、2つのノード（すなわちHostコンピュータ） i とノード j の間の独立な経路（path）の数、すなわちConnectivity（正確にはnode Connectivity）が用いられることが多い。これはネットワークの幾可学的構成をグラフ理論におけるグラフであらわしたときの性質によって一義的にきまるものである。多くのコンピュータ・ネットワークでは回線を2重化されているので同時に両方の回線が故障しないかぎりノード間の経路を固定してもConnectivity = 2は最低限確保されていることになる。たとえば、ARPAコンピュータ・ネットワークにおいては、伝送設備の年間のダウン・タイムを10～12時間に見積っており、伝送路の2重化によって年間の平均障害時間は30秒程度におさまるとしている。また伝送誤り率は $12\text{-ten}(1/10^{12})$ という著るしく高い値を考えている。さらにメッセージの蓄積交換伝送のためのIMPのMTBF* 10,000時間（年1回以下）というような高信頼度をもつとされている。このような信頼度が実際に実現されるとすれば、迂回経路の可能性も含めて考えると、コンピュータ・ネットワークにおいては実用上は十分な信頼度が得られることになる。

しかしながら、すでに述べたような単純な考察には、かならずしも問題点がないとは言えない。たとえば従来のプロセス制御のコンピュータ・システムや階層制御システムの運用実績からみても、ハードウェアの故障によるシステム・ダウンと同程度、あるいはそれ以上にソフトウェアによるシステム・ダウンあるいはミスオペレーションによるダウンが多いことは周知の事実である。とくにコンピュータ・ネットワークのように、急速にHostコンピュータの数が拡大してゆき、

* (Mean Time Between Failure)

またソフトウェア的にも改善が加えられていく期間すなわち、システムがその成熟期にいたるまでの成長過程では、システムの信頼度を構成要素のハードウェア的信頼度の単純な積であると考えすることは危険である。

ここで述べた考え方はシステム全体としての信頼度についてであるが、ネットワークの利用者から考えるとまた別の見方をしなければならない。つまり、あるHostコンピュータにおける利用者は、そのHostコンピュータおよびこれに接続したIMPその他の設備がハードウェア的にもソフトウェア的にも正常に動作しているときのみ、ロード・シェアリングやリソース・シェアリングの恩恵をうけることが出来るという事である。したがって伝送経路の迂回やパケットの伝送により遠隔処理をおこなうことが出来るという信頼度のうえでの冗長性は、自己のHostコンピュータかIMPが故障していないという条件が成立しているときのみ、意味があることになる。TSSシステムにたとえると各Hostコンピュータは、処理用の中央コンピュータであると同時に端末機としての機能をも兼ねそなえなければならないわけであり、このような観点からは利用者にとって大巾な信頼性の向上ということにはならない。

さらにネットワークにおけるトラフィックの輻湊が限度以上になったときにも、システムのハードウェア的なダウンではないが、応答時間の大巾な増大ということを引き起こし、これを信頼性とどのように関連づけるかが問題となる。

最後に信頼性の評価基準の問題に若干ふれておく必要がある。従来の信頼度解析ではシステムの構成要素の故障（ハードウェア、ソフトウェア両面について）は、全くの偶発的な要素に起因するランダム故障であるという考えに基づいている。しかしながらネットワークの利用形態によっては、ランダム故障に加えて人為的な故障に対する信頼度の向上対策が必要になることも多くなってきている。

1つの例として、国家防衛を目的とするようなネットワークでは、ネットワークの構成要素が人為的な破壊によって故障することを想定し、このような人為的な故障によってもたとえばノード間のConnectivityがあるレベル以上に保持されるような基準が必要となってくる。また、システムの拡大にともなってハードウ

エアあるいはソフトウェア的に手直しされる個所に接続する構成要素は、他のランダム故障の構成要素よりも高い故障率をもつと考え、このような人為的故障に対して高レベルの信頼性をもつシステム構成はいかにあるべきかという点も議論され始めている。

2.3 コンピュータ・ネットワークの活用例—McROSSについて—

すでに述べたように、コンピュータ・ネットワークの目的は大別してリソース・シェアリングとロード・シェアリングにある。ここではコンピュータ・ネットワークにおいてリソース・シェアリングが不可欠の条件である例をアプリケーション・サイドから考察してみることにしよう。1つの典型的な例はつぎにのべるMcROSSである。

McROSS (Multi-Computer Route Oriented Simulation System) は、その名称の示すように、航空機の飛行ルートの管制用のシミュレーションをネットワークによって結合された複数台のコンピュータにより実行するシステムである。このシステムの機能を説明するため、たとえば図2.1に示すような簡単な場合を考えてみよう。いま、ボストン・ターミナルからニューヨーク・ターミナルに航空機が飛行するときの航空管制を考えると、各コントロール・センタが管制責任をもつ地域（航空管制領域と呼ばれ、図2-2の4つの円）内での航空機の飛行に関してつぎのような項目を管理するプログラムをそれぞれのコントロール・センタに設置されたコンピュータにより処理する。

- a. ルート決定のプログラム・モジュール
- b. 各航空管制領域内の地理条件のプログラム・モジュール
- c. 風速に関するプログラム・モジュール
- d. 各航空機の性能特性に関するプログラム・モジュール

航空管制は、異なった時刻に異なった高度、行先をもった多数の機種 of 航空機を、安全に航行させるために上記のようなプログラム・モジュールを実行して、

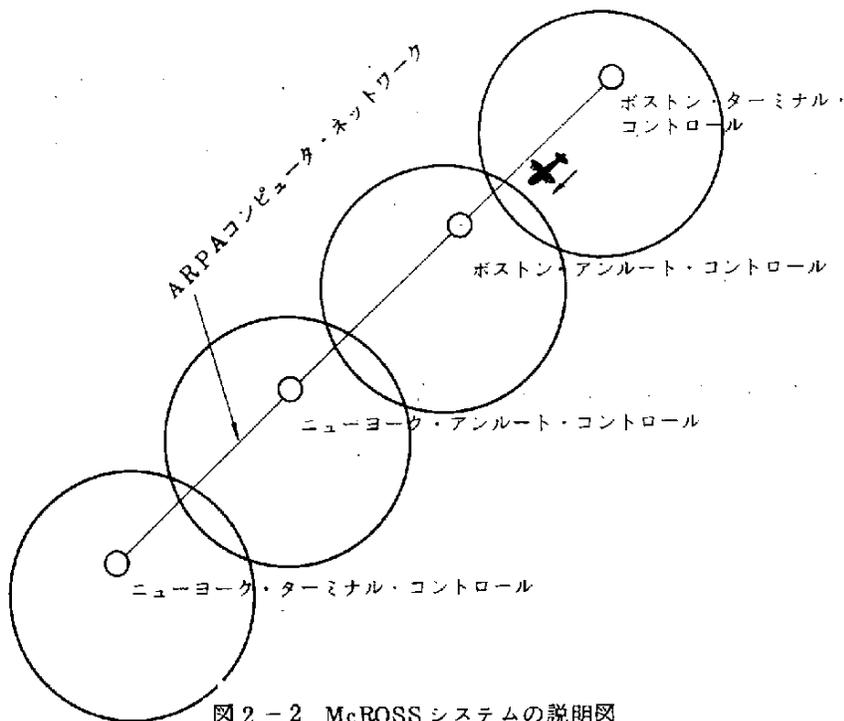


図 2-2 McROSS システムの説明図

自分の管理する航空管制領域から隣接する航空管制領域へ航空機の進行に従って管理をおこなうわけである。このようなシステムを仮に集中化された方式でおこなうとすれば、本来航空管制領域内でしか得られにくい情報を集中して収集するための情報伝送システムの建設コストや入力情報の輻湊という問題点が生ずる。McROSS は ARPA コンピュータ・ネットワークの 1 つのアプリケーションとしてこの航空管制のシミュレーションを分散したコンピュータによって行ない、必要最小限の情報交換を ARPA コンピュータ・ネットワークによっておこなうシステムであり、つぎのような特徴を有すると期待されている。すなわち、

- a. 集中化方式と異なり、各コントロールセンタの独立性 (autonomy) を保ちつつ全体の管理を行なうことができる。
- b. ネットワークの、あるコントロール・センタのコンピュータが故障したときには ARPA コンピュータ・ネットワークを通して他の負荷の軽いコンピュータが代替コンピュータとして処理をうけもつことが出来るため、トータル・システム・ダウンにはならない。
- c. 各コントロール・センタのソフトウェアのデバッグが独立してできる。

- d. シミュレーションの実行は航空機の進行に応じて必要なタイミングで行なうが、このためのタスクの実行開始の情報の受け渡しは比較的簡単である。
- e. 必要に応じて遠隔監視ができる。遠隔監視とはつぎのようなことを意味する。

- ① 他の航空管制領域内に存在する各航空機の航行速度、方位、高度、X-Y位置、識別番号などを知ること。
- ② 上記①の内容を、隣接地域に知らせるサービス("broadcast"サービス)の開始あるいは停止の要請を他の air space のコントロール・センタにすること。

以上のように McROSS におけるネットワークは、ネットワークを構成している各コントロール・センタでの情報処理の自主性を確保し、またソフトウェア的にも複雑化することなしに、必要に応じてネットワーク化することによって(たとえば航空機の進行にともなって必要タスクの実行の起動や遠隔監視など)総合的な処理効率を高めている。したがって、通信システムにおけるネットワークの利用効率の立場から考えると、ARPA コンピュータ・ネットワークがもしこの McROSS のみに利用されるとすれば、トラフィックはかなり低いものとなることが予想され、通常の意味でのリソース・シェアリングかロード・シェアリングを目的としたアプリケーション・ジョブのトラフィックと混在して、その中の1つというような利用形態にならなければ経済的には不利であることは簡単に予想されることである。McROSS についてももう少し詳しく説明する。

McROSS は Bolt Berank Newman Inc. (BBN) によって、ARPA コンピュータ・ネットワークを利用した航空機のトラフィック制御の研究の手段として開発された実験的シミュレーション・プログラムで、1台のコンピュータで実施するシミュレーション・プログラムを複数台のコンピュータで実施するように拡大したものである。McROSS は、2つの大きな意義をもっている。すなわち、第一の意義としては、地理的に離れているコンピュータでそれぞれ航空管制のシミュレーション・モジュールを実行することである。第2の意義は、各ノードで

実行したシミュレーションの結果を、必要な他のノードへ伝送することである。そしてMcROSSはつぎのようないくつかの特徴がある。

- (a) McROSSを使用することにより、コンピュータ間でデータのやりとりが行なわれ、一連のシミュレーション・プログラムが、実際に会話する形で実行される。このようなコンピュータ相互すなわち、シミュレーション・プログラムとシミュレーション・プログラムの会話については今まではほとんど行なわれていなかった。
- (b) McROSSにおける各ノードはシミュレーションが実際に行なわれるまでARPAコンピュータ・ネットワークを構成する特定の地点に固定されるわけではない。したがって、McROSSはARPAコンピュータ・ネットワークでいろいろ異なった方法で分散して実行することができる。たとえば、ある場合にはBBNですべてのノードのシミュレーション・プログラムが実行するかもしれないし、また別の場合には、シミュレーション・プログラムの一部はBBNで実行され、一部はRANDで、あるいはユタ大学で実行される。このようにARPAコンピュータ・ネットワークを利用する方法は、プログラムがネットワークの特定の地点に固定される通常の方法とはかなり異なっている。

McROSSは複数台のコンピュータが協調して動くことによって計算するプログラムの開発・実行・デバッグを容易にする技術を研究するためにすすめられている研究の第一段階であり、ここで生じた諸問題を研究するための実験的な手段であるとともに、航空管制の研究をするための1つの方法として利用できることを意図している。航空管制の問題をうまく解決するためには航空機および地上の管制センタのコンピュータを有機的に結びつけて1つのシミュレーション・プログラムを分割して実行することができるコンピュータ・ネットワークが有効である。

このように航空管制の問題では、シミュレーションを分割して処理するといった面で多くの興味深い問題を含んでいる。また、コンピュータ・ネットワークを有効に利用できるといった面でも興味深い問題を含んでいる。

2.4 コンピュータ・ネットワークの設計および運用における解析上の諸問題

2.4.1 コンピュータ・ネットワークにおけるシミュレーション研究の必要性

1960年代の後半から、主として米国において各種の形態のコンピュータ・ネットワークが計画され、また実際に建設されてきた。しかし、このようなコンピュータ・ネットワークが所期の目的を十分に発揮するためには、ネットワークの設計および運用の両面についての事前の検討が十分に行なわれる必要がある。コンピュータ・ネットワークはパケット化による蓄積交換伝送に関する新しいハードウェア技術を開発しなければならない、さらにコンピュータのネットワーク化に伴う過去に経験したことのない新しい技術的な問題の解明も必要とした。すなわち、各Hostコンピュータにおける各種のジョブの処理需要を目的地のHostコンピュータに迅速に、かつ通信ネットワークの能力を最大限に有効に利用するための運用技術に対する予備的な検討と問題点の解明が必要となる。この問題を解明するための数学的、とくに解析的な手法として、従来から通信システム分野で研究開発されてきた待ち行列理論がある。しかしながらつぎに述べるようなコンピュータ・ネットワーク問題のもつ固有の性質のため、待ち行列理論を直接的にコンピュータ・ネットワークに応用するには、極端なモデルの単純化や仮定をおかない限り、その実効的な効果はあまり期待できない面が多い。

a. Hostコンピュータに到着するメッセージは、その発生時刻および長さ、内容などがランダムで確率的な要素として取扱う必要があるが、周知のように待ち行列理論ではそのようなパラメータを指数サービス、ポアソン到着などの特定の分布であたえ、しかもシステムの構成が単純な場合のみ解析的な解が得られることである。もちろん、モデルを複雑化することによって実際のネットワークを出来得る限り忠実に模擬する試みはなされているが、コンパクトな形で解析解が得られるモデルにはおのずからその限界がある。とくに強調すべき点は、待ち行列理論では主として定常解しか得られないこと

(すなわち時間的なシステムの振舞いをあらわす解は得にくいこと), また待ち行列網 (Queuing network) に関する研究の歴史は非常に浅いことである。

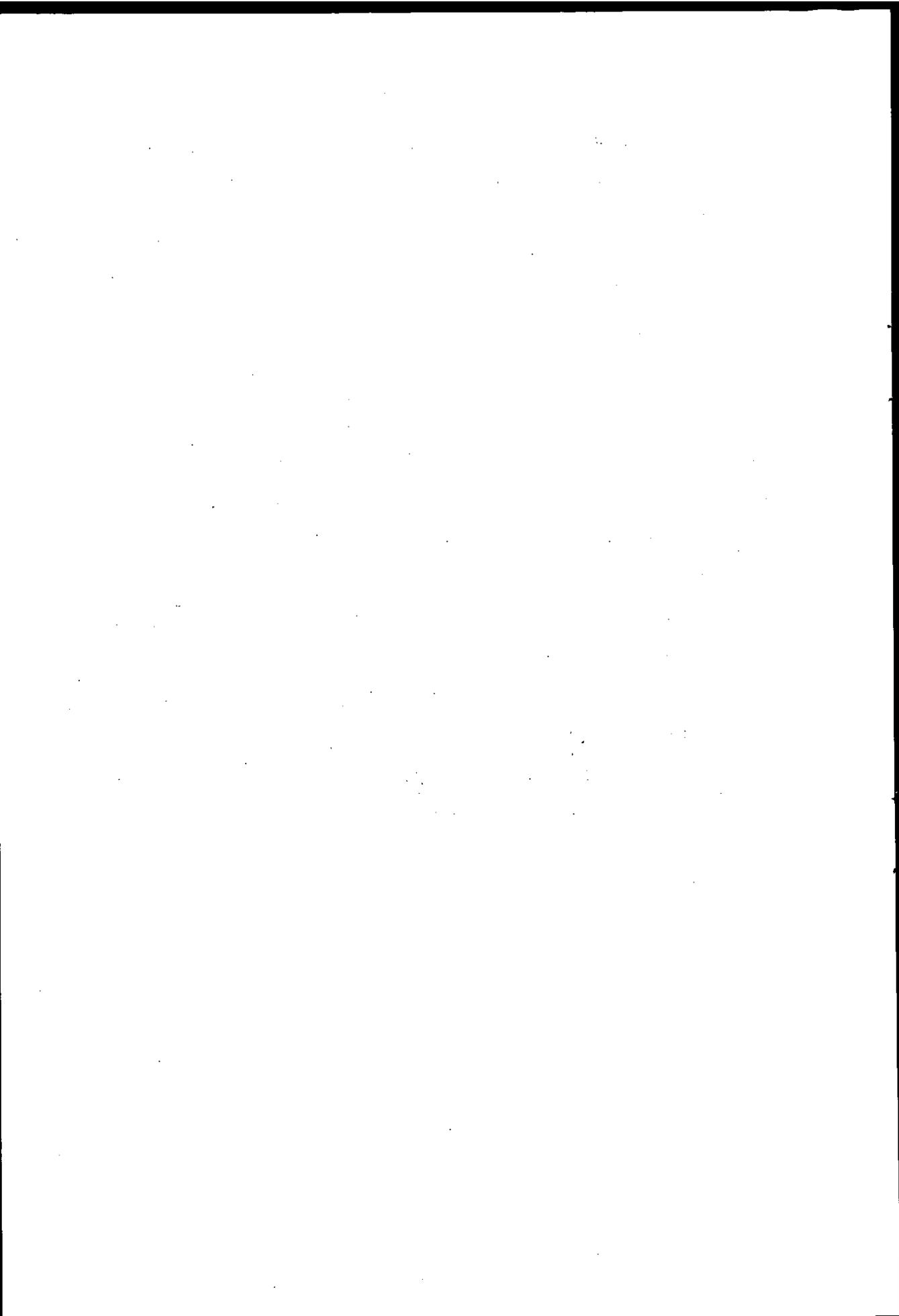
b. コンピュータ・ネットワークの主要な構成要素としての通信ネットワークの特性を解析するとき, 従来はネットワーク・フロー理論の応用が試みられてきたが, 各メッセージは互いに代替できないことから, ネットワーク・フロー問題は必然的に多種のフローの問題 (すなわち multi-commodity network flow problem) になり, この問題は単一種のフロー問題 (single-commodity network flow problem) に比して著しく困難な問題である。もちろん, 多種流問題に対してもいくつかの試みはなされており, たとえば Branch-and-Bound 法などの適用例が報告されているが, コンピュータ・ネットワークの問題に応用するには, 処理時間やモデリングの点で難点があるようである。

c. コンピュータ・ネットワークではパケット化されたメッセージの蓄積交換装置としてたとえば IMP (Interface Message Processor) が用いられるが, ここで蓄積されるメッセージ長は有限である。たとえば ARPA コンピュータ・ネットワークでは, IMP のバッファ容量が 4 k バイト程度であり, このバッファ容量の有限性から, ネットワークの一部のオーバーフローや故障がシステム全体に影響を及ぼすという相互依存要因が多い。IMP におけるメッセージの処理は究極的にはそこにおける待ち行列を解析することによって明らかにされるわけであるが, 待ち行列理論が通常取扱かうような 1 方向性のトランザクションの動きと異なって, コンピュータ・ネットワークでは 2 方向性であり (すなわち, メッセージの送出と受信の両方とを IMP が管理する), また IMP がオーバーフローによって閉そくされているとき必要となるパケットの再送によって, その到着分布もポアソン分布からずれてくることが多い。

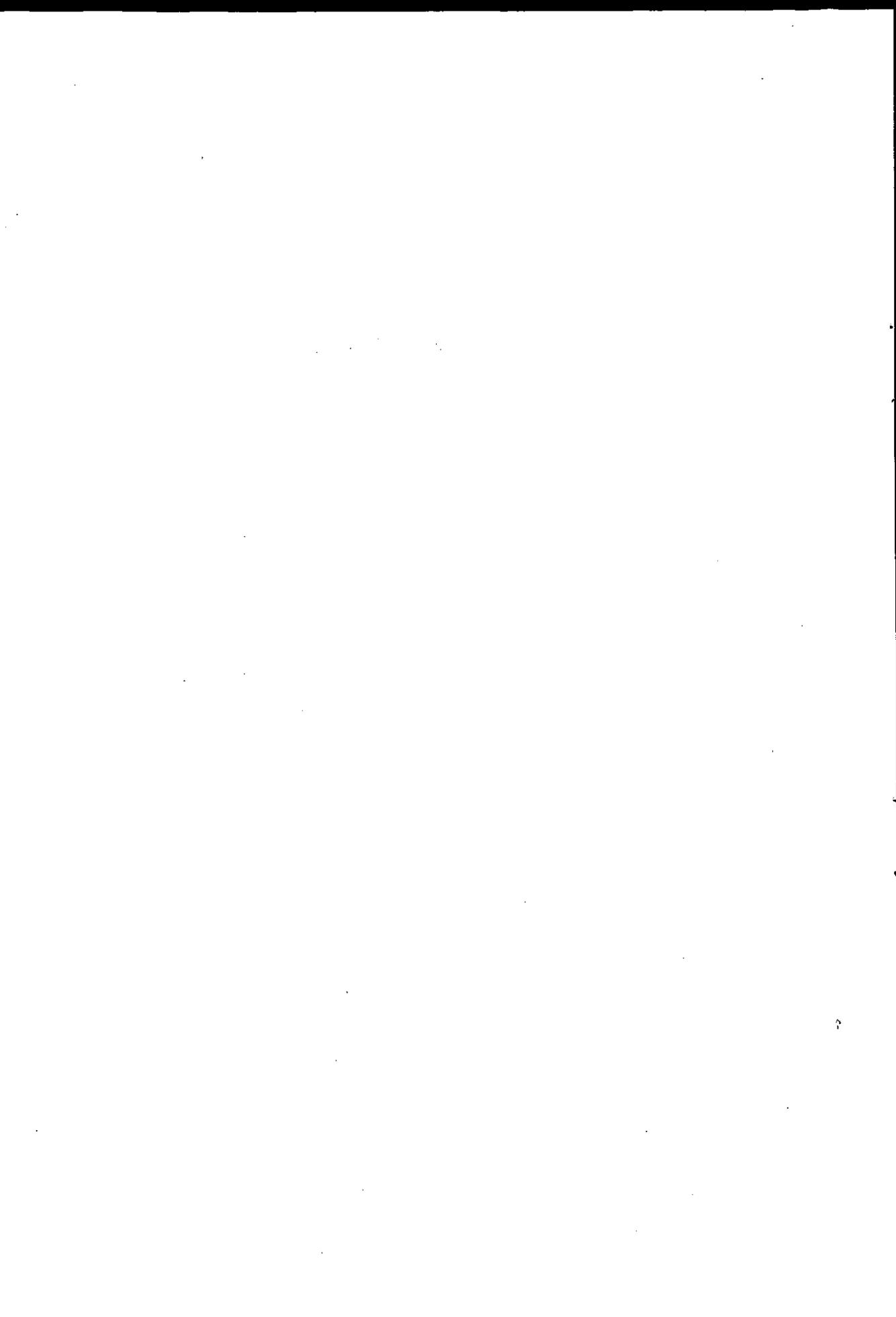
以上述べてきたように, コンピュータ・ネットワークの運用面の諸問題を既存

の解析手法によって解決するにはいくつかの難点があることは明らかである。したがってもっとも実際的でかつ確実であると思われる方法は、まずプロトタイプ
のネットワークを実際に建設し、その運用経験に基づいて実際規模のネットワーク
を設計、建設するという手段である。事実、ARPA コンピュータ・ネットワーク
などは、ある面において、実験的なネットワークである。しかしながら、ネット
ワークの建設には、極端に言えば国家予算的な規模の資金を必要とし、またこ
の程度の規模のものであってはじめてネットワーク化による利点が生まれるとい
う例も多いと思われる。したがって唯一の実行可能な方法としてはシミュレーシ
ョン手法しかないであろう。事実、このような認識は最近になって広く受け入れ
られており、汎用シミュレーション言語 (GPSS) によるシミュレーションやネ
ットワーク解析専用のシミュレーション言語の開発が報告されている。これらの
研究の目的はつぎのようなものである。

- a. 待ち行列理論やネットワーク・フロー理論にもとづく近似理論の妥当性の
チェックと有効範囲の確認。
- b. 近似理論では数学的に取り扱い得ない部分をモデル化し、新しい事実の
発見や洞察の手段とする。
- c. たとえば CAD (Computer Aided Design) によってさらに高度の会話
形シミュレーションを行ない、有効な設計指針を得る。



3. ネットワークの構成例



3. ネットワークの構成例

3.1 コンピュータ・ネットワークの事例

3.1.1 ARPAコンピュータ・ネットワーク

ARPAコンピュータ・ネットワークは、アメリカ国防省のAdvanced Research Project Agency (ARPA)が中心になって、アメリカ国内に散在している大学や研究機関にある多数の異機種コンピュータを通信回線で結び、お互いのハードウェア、ソフトウェア、データなどの資源(リソース)を、あたかもサブルーチンを呼び出すような形で利用することができるようにした、コンピュータ・ネットワークである。ARPAについて、そのハードウェア、ソフトウェアに関する文献が多く紹介されており、しかも、コンピュータ・ネットワークの構成は、年々拡張して変化しているので、ここでは、ARPAコンピュータ・ネットワークを構成した意義や目的などを中心に説明する。ARPAコンピュータ・ネットワークは、すでに述べたとおり、アメリカ各地に散在している。コンピュータのハードウェアやソフトウェアを、どこにいても利用できるようにした、いわゆるリソース・シェアリングを目的としたコンピュータ・ネットワークである。このコンピュータ・ネットワークで利用できる代表的なソフトウェアには、MITのMATHLABや、SRIの定理証明用言語や、BBNの自然言語処理や、LEAPのようなシステム・ソフトウェア言語や、リンカーン研究所の図形処理言語LC²や、カーネギの会話形ALGOLなどがあり、しかも、各地に散在するこれらのソフトウェアの利用者は、高度な知識をもったソフトウェア技術者ばかりである。また、コンピュータ・ネットワークを構成しているHostコンピュータは、PDP-11とかIBM 360/75とかUNIVAC 418 IIIとかいった異ったコンピュータである。そして、機種の異ったコンピュータ間を50Kボアの専用回線で結び、どこからでも、ネッ

トワーク内のすべてのコンピュータが利用できるようになっている。Hostコンピュータ間の結合には、BBN(Bolt Beranek and Newman社)が開発しハネウェル社のDDP-516などのミニコンピュータを用いたIMPを介して行なっている。

ARPAコンピュータ・ネットワークは、当初、コンピュータだけが結びついて構成されていたが、ネットワークが拡大してくるにつれ、ネットワークの利用価値が増大し、コンピュータを持たない利用者からもARPAコンピュータ・ネットワークを利用したいという要求がでてきた。この結果、データ端末を直接ネットワークに接続するためのインタフェース・プロセッサであるTIP(Terminal Interface Message Processor)が開発され、ネットワークに組み込まれた。TIPはハネウェル社のミニコンピュータDDP-316を用いて、63台までのデータ端末に接続することができる。またIMPとしてHostコンピュータとも結ばれている。

また、ARPAコンピュータ・ネットワークの管理はBBNに設置されているネットワーク管理センタによって行なわれており、その保守員がネットワークの保守、修理、デバッグを行なっている。さらに、BBNに設置されているネットワーク管理用のHostコンピュータは、1分ごとに各地のIMPの記録をとったり、その他必要なときに各種の記録をとっている。

ARPAコンピュータ・ネットワークにおける問題点として信頼性の問題がある。ネットワークの信頼性に重視してARPAコンピュータ・ネットワークは建設されたが、IMP1台あたりの平均故障時間間隔(MTBF)は約1ヶ月ぐらいとなっており、当初、設計段階で予想していた約1万時間にはなっていない。このため、ある所の機器が故障をおこしたら、故障をおこした機器をネットワークから切り離すといった手段により、ダウン・タイムで約9時間、装置あたりのダウン率として2%減少するといった効果が出た。また、伝送回線の故障率は 10^{-5} である。

このような、ARPAコンピュータ・ネットワークは、当面もっとも有力で、しかも国家的なコンピュータ・ネットワークの1つであるが、さらにアメリカ国外

のコンピュータとも結びついて、世界的なコンピュータ・ネットワークとなりつつある。たとえば、スウェーデンに設置してあるコンピュータと結びついて、地震に関するデータのやりとりを行ない、地球物理学の研究などを行なっている。

図3-1は1972年のARPAコンピュータ・ネットワークの構成図であるが、現在はさらに多くのノードが結びつき、拡大したコンピュータ・ネットワークになっている。

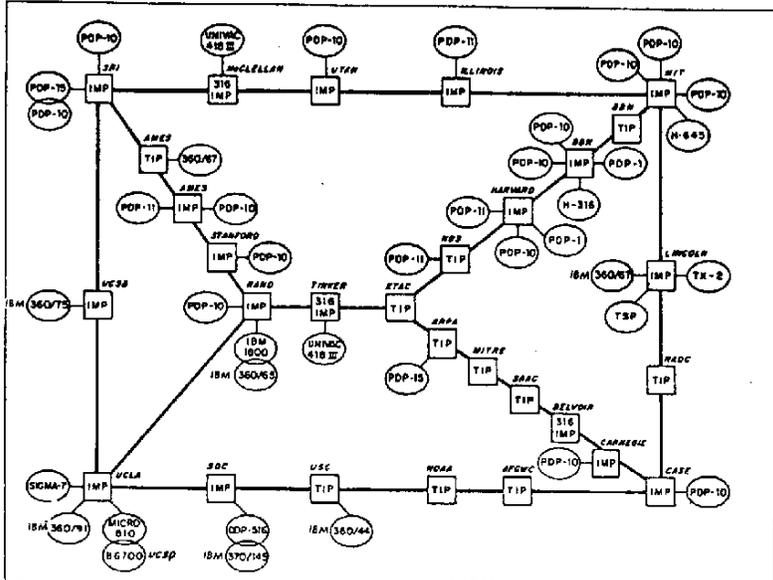


図3-1 1972年におけるARPAコンピュータ・ネットワークの構成図

3.1.2 TYMNETコンピュータ・ネットワーク

TYMNETはタイムシェア社により開発されたコンピュータ・ネットワークで、100台以上のコンピュータが完全二重ターミナルにより結びつき、ネットワークが構成されている。そして、ハードウェア、ソフトウェア、遠距離通信における多くの問題につきあたり、それを解決することによってコンピュータ・ネットワークが完成してきた。ここでは、コンピュータ・ネットワークの構築過程で発生した問題やその問題に対する解決法について述べる。

まず、コンピュータ間におけるメッセージ伝送の問題点をのべる。開発当初は周波数帯分割による多重化により、“拡大コード”を使用してメッセージ伝送の性能をあげようとしたが、失敗であった。

このため、つぎにミニコンピュータを用いて、時分割多重化によるメッセージ伝送の方式、すなわち TYMSAT と呼ばれる装置を使った方式を採用した。

この TYMSAT をつくるうえで、さまざまな技術的な問題につきあたった。

はじめは図3-2のような構成であった。すなわち、メッセージはユーザから遠隔 TYMSAT、伝送回線、ベースの TYMSAT を介して XDS 940 へとどき、計算結果は、XDS 940 からベース TYMSAT、伝送回線、遠隔 TYMSAT を介してユーザにとどく。しかしながら、この方式ではコストが高く、かなり時間遅れがあり、スピードが遅い（10文字/秒）ので図3-3のような方式にかわった。この方

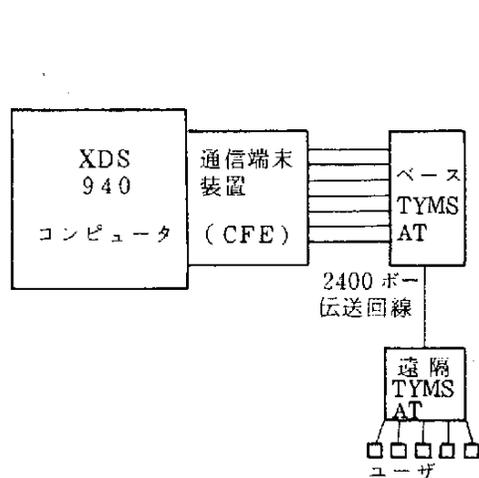


図3-2 第1段階の TYMSAT の形態

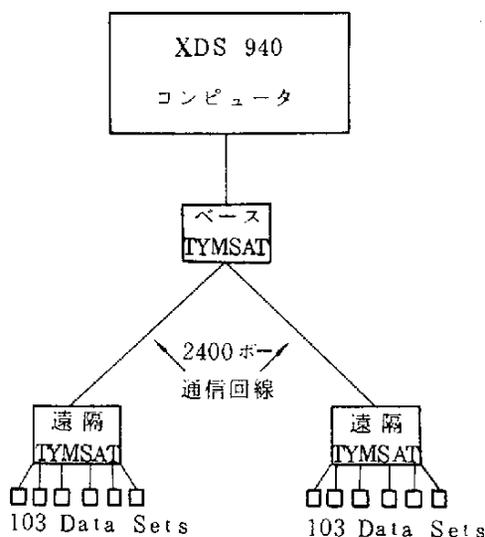


図3-3 第2段階の TYMSAT の形態

式では、10、15、30文字/秒の伝送速度を選べる。

つぎにエコーの問題について述べる。遠隔 TYMSAT は①プリントされる文字がない場合、②XDS 940 から遠隔 TYMSAT にもどってくる文字がわからない場合、③XDS 940 が遠隔 TYMSAT にエコーするなという信号を送らない、といった3つの場合、TYMSAT はエコーを起こす。したがって、この3つのうちのどれかの現象が起きてもエコーしないときには XDS 940 に対して、送ってきた文字はエコーされないという制御情報が伝えられる。

つぎにエラーの認知と再伝送の問題について述べる。同期形伝送回線において

文字は12~66文字のブロックにわけられ、その各ブロックの後に16ビットの水平チェックと、16ビットのらせん状チェックの情報がついている。1つのブロックを受けとったら、そのブロックの番号を送り返し、つぎのブロックを受けとる。もしブロックがわからなかったら、その番号を送り返してやる。もし伝送上のエラーが認知されたら、そのブロックは無視する。このとき発生するエラーの原因は主に伝送線の雑音による。ベル・システムでは、100,000ビットあたり1個のエラーを許しているが、タイムシェア社では 4×10^{13} ビットあたり1個のエラーしか発生しないようにおさえている。

また、1ブロック $\frac{1}{2}$ 秒~ $\frac{1}{4}$ 秒という伝送の速度では、2400ビット/秒の伝送回線を57のユーザが同時に使える。通常では240文字/秒で、伝送可能となっている。もっとも効率良くメッセージを送った場合、16文字のオーバーヘッドと58文字のデータを $\frac{1}{4}$ 秒で送ることができ、最大効率は $(58 \times 4) / 300 = 77\%$ となる。

最後の問題として、冗長性という問題について述べる。ユーザが2つのTYMSATを経由して使用できるXDS940コンピュータは通常1つだけしかない。しかし、他のXDS940を使用したい場合、使用するコンピュータを変更することが必要なソフトウェアが必要となる。このため、ネットワーク監視(network supervisor)という概念を用いて、コンピュータ変更に対処した。すなわち、ユーザが使用したいXDS940の番号を指示すれば、監視コンピュータが、ユーザから使用したいコンピュータまでの道順をみつけ出すというものである。

このようなことが、現在のTYMNETコンピュータ・ネットワークの概要と、開発過程で発生したいくつかの問題の解決方法であるが、TYMNETコンピュータ・ネットワークは現在では、19のXDS940と3つのPDP-10が、80のTYMSATにより稼動している。

3.1.3 MERITコンピュータ・ネットワーク

MERITコンピュータ・ネットワークは、Michigan州立大学(MSU), Michi-

gan 大学 (UM), Wayne 州立大学 (WSU) の 3 つの大学に設置してあるコンピュータを通信回線により結合したコンピュータ・ネットワークで, その幾可学的配置を図 3-4 に示す。MSU には, CDC 6500, UM と WSU には IBM 360/67 がそれぞれ設置されている。

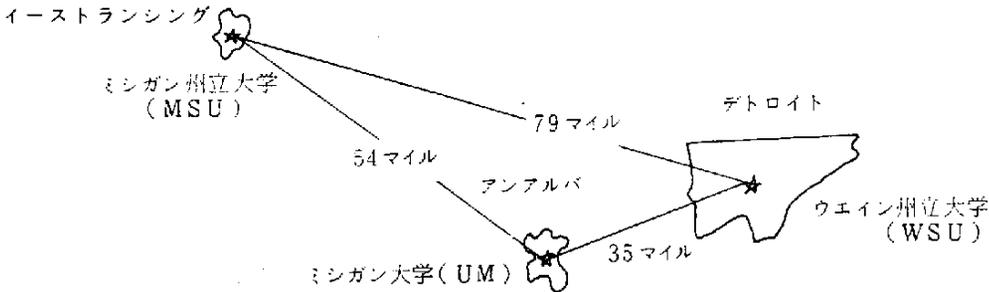


図 3-4 MERIT コンピュータ・ネットワークの幾可学的配置

MERIT コンピュータ・ネットワークのシステム構成を図 3-5 に示す。それぞれの Host コンピュータには, 回線制御用のコンピュータ (CC) (DEC 社の PD P-11/20) とともに, さまざまな周辺機器が接続している。3 つの Host コン

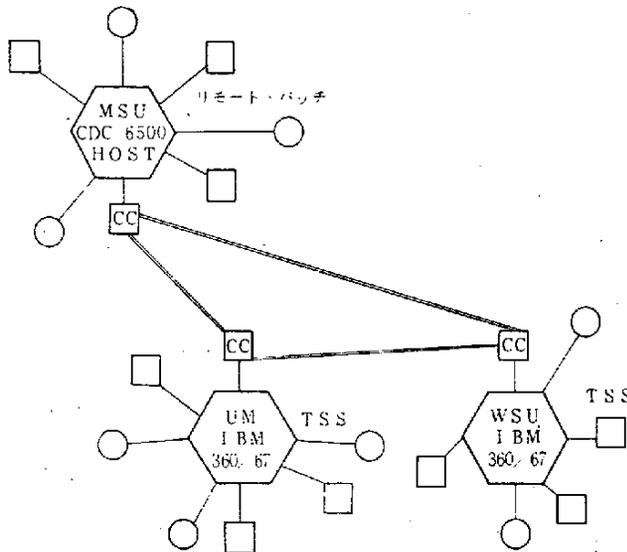


図 3-5 MERIT コンピュータ・ネットワーク

ピュータは CC を介して通信回線で結ばれており, CC はメッセージを伝送するための処理やメッセージの中継といった機能をもっている。CC 間の通信回線には, 経済的理由により 2000 ボーの電話回線が使用されている。この回線数は,

Host コンピュータ間の伝送容量によって変化する。回線は全二重であり、1回線につき2つの電話回線を必要とする。CCは、図3-6に示されるように、PDP-11/20コンピュータ、Host インタフェース、データ・セット・インタフェイ

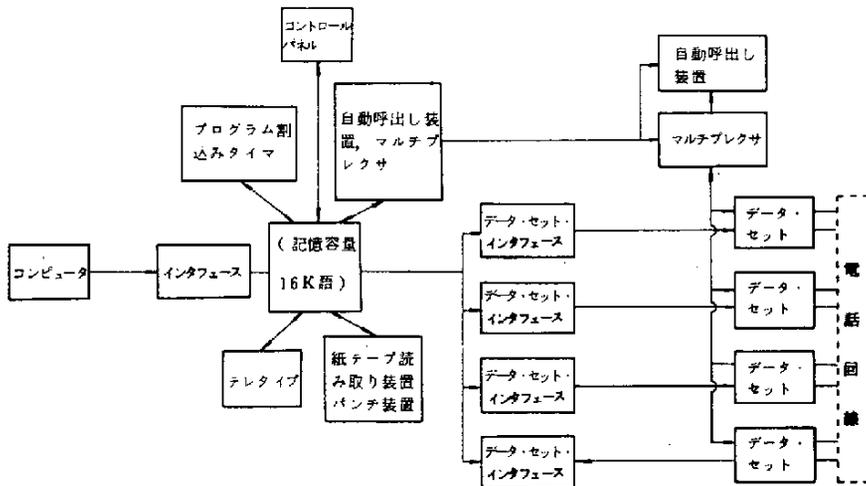


図3-6 MERITの回線制御用コンピュータ(CC)の構成

ス、データ・セット、自動呼び出し装置、マルチプレクサなどから構成されている。

MERITコンピュータ・ネットワークの利用方法について説明する。あるHostコンピュータの利用者が、自分の所以外の2つのHostコンピュータのいずれかにデータを伝送することを考えてみる。利用者のリクエストによって利用者のところのHostコンピュータは、使用中でないHostインタフェースをえらび、CCのプロセッサに処理を依頼する。CCのプロセッサは、データ・セット・インタフェースに通信回線が接続可能の状態であることを問い合わせる。もしCCのプロセッサと他のHostコンピュータの間に、以前結合したことがなかったと仮定すると、CCのプロセッサは1組の未使用通信回線を探し、自動呼び出し装置がマルチプレクサ・インタフェースとマルチプレクサを使ってこれから使用する通信回線と接続する。CCのプロセッサは、相手方のHostコンピュータを呼び出す番号を自動呼出し装置に送って、相手方のHostコンピュータを呼び出す。呼び出されたHostコンピュータは、呼び出したほうのHostコンピュ

ータのデータ・セットとCCのプロセッサがどこのであるかを把握する。呼び出されたHostコンピュータCCのプロセッサは、呼び出したHostコンピュータの番号を確認し、結果が出たら、呼び出したHostコンピュータを呼び出す。こうして、帰路の通信回線の結合が決まる。

1組の通信回線が決まると、CCのプロセッサは、そのHostコンピュータから送られてくるデータを、全2重回線の様式にそって整頓し、呼び出したHostコンピュータにメッセージを転送する。メッセージを連続的に伝送し終ったあと、CCは、通信を一旦停止し、別のHostコンピュータへのメッセージを送るか、あるいは、呼び出したHostコンピュータからの返事のメッセージを待つ。

このような方法で、Hostコンピュータ間のメッセージのやりとりを行ない、コンピュータ・ネットワークを構成している。

3.1.4 CYBERNETコンピュータ・ネットワーク

コントロール・データ社のCYBERNETコンピュータ・ネットワークは、現在運営されている商業ベースのネットワークの代表的な例として、ここに採りあげた。

CYBERNETコンピュータ・ネットワークにおける運用上の技術という点では、ARPAコンピュータ・ネットワークに比べて高度で精緻というわけではないが、現実に商業ベースで動いているという点において注目される。CYBERNETコンピュータ・ネットワークは基本的には、CDCの現存するデータ・センタを通信回線で接続したコンピュータ・ネットワークである。CYBERNETコンピュータネットワークは、データ・センタが相互接続されているため、もしあるデータ・センタになにか障害が出た際には、ただちに、他のコンピュータが使えるのでコンピュータ・ネットワーク全体として信頼性が向上している。また、各データ・センタが(図3-7)各時差の違う地域ゾーンにバランスよく配置されているので、データ・センタが混雑してくると、空いているデータ・センタを利用し、実質的なジョブのスループットが向上した。さらに、よそのデータ・センタのプロ

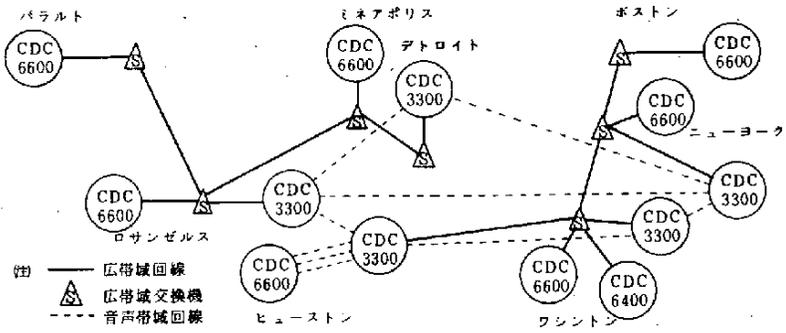


図 3-7 CYBERNET コンピュータ・ネットワークの構成

グラムやデータ・ベースをアクセスすることができるので利用者は一番近いデータ・センタで、問題にもっとも適したコンピュータ・システムを利用することができる。

CYBERNET コンピュータ・ネットワークは CDC 6600 と CDC 3300 を広帯域および音声帯域通信回線で結んだネットワークである。CYBERNET コンピュータ・ネットワークは 5 つの主要構成要素、すなわち、利用者、端末システム、通信回線、ノード・システム、セントロイド・システム (Host コンピュータと同じ) からなりたっている。

また、CYBERNET で採用している通信システムは交換回線や、専用回線や衛星通信回線といったさまざまな方式を採用している。

CYBERNET コンピュータ・ネットワークでは端末と Host コンピュータ、Host コンピュータと Host コンピュータの接続を手動操作に大きく依存している。

CYBERNET コンピュータ・ネットワークはともかく商用として動いているし、現実には、利用者に対して計算サービスを実施している。

3.1.5 CYCLADES コンピュータ・ネットワーク

CYCLADES コンピュータ・ネットワークとは、フランスにおいて、コンピュータ・ネットワークの機能や利用方法、開発手順などを実際の規模で実験的に考察するために、国の研究機関が中心となって、現在建設が進められているコンピュータ・ネットワークである。

CYCLADES コンピュータ・ネットワークにおいては、行政機関の間でデータベースの共用および、情報交換の迅速化などを主な目的として建設している。このため、コンピュータ・ネットワークの構成や特性などはARPA コンピュータ・ネットワークなどと似たものになるが、ARPA コンピュータ・ネットワークにおいてもっとも重要視しているリソース・シェアリングの意義ということに対しては、CYCLADES コンピュータ・ネットワークではあまり評価していない。

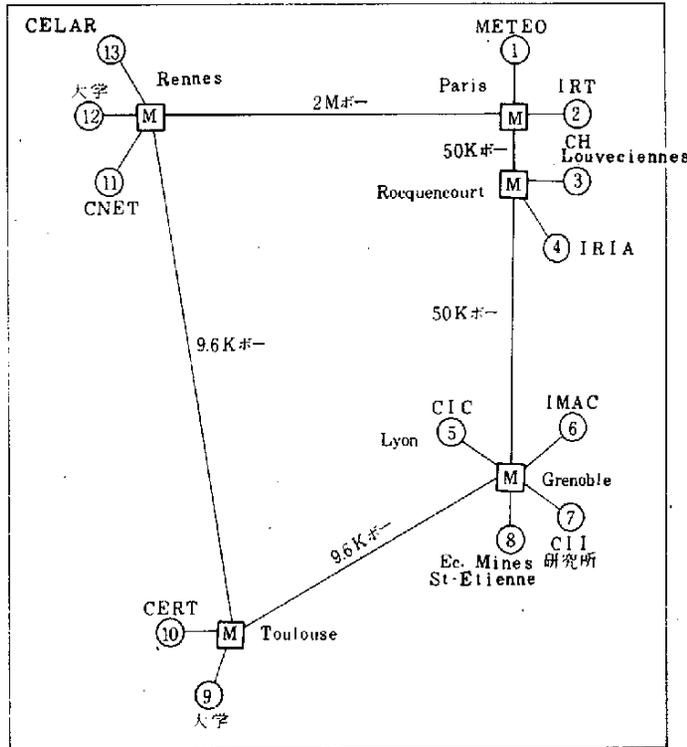
このためCYCLADES コンピュータ・ネットワークは、コンピュータとコンピュータのコミュニケーションはもちろんのこと、コンピュータと端末、端末と端末のコミュニケーションも可能なネットワークでなければならない。この通信回線には、PetTの専用回線を利用し、IMPとしてMitra 15を設置している。そして、各端末はコンピュータ・ネットワークに直接接続されるのではなく、IMPを介して接続される。また、1台のIMPには、複数台の端末が接続することもできる。

CYCLADES コンピュータ・ネットワークが建設されることにより、フランスの各分野に対してつぎのような効果が期待されている。まず、行政機関においては、各行政機関が独自に収集した情報などを共用することにより、2重に情報を集めるといった無駄を省き、さらに、従来利用することがめんどろであった他の行政機関の情報を容易に利用できるようになる。また行政サービスに関するいくつかのプログラムを共有することも可能となる。PetTにおいては、CYCLADES コンピュータ・ネットワークがPetTの専用回線を利用するため、データ通信に関するいろいろな問題の解決方法や新しい技術を得ることは期待できる。このことは、コンピュータ・メーカ、とくにC・I・Iも同じようなこともいえるし、C・I・Iにとっては、Mitra 15の市場がより拡大することも期待できる。さらに、大学や一般の企業にもさまざまな効果が及ぼされることが期待できる。

CYCLADES コンピュータ・ネットワークの建設予定はつぎのようになっている。1973年中に、Mitra 15を介した通信回線を設置し、数台のコンピュータによるコンピュータ・ネットワークを構成する。1974年中に、すべてのコンピ

ユーターをネットワークに接続し、コンピュータ・ネットワークに関するさまざまな実験を進めるとともに、コンピュータ・ネットワークを利用するうえでの各種マニュアルの整備を行なう。そして、1975年中に、利益があがるようないくつかのアプリケーションシステムの開発を行なう。さらに、他のコンピュータ・ネットワークとの接続、たとえば、ARPAコンピュータ・ネットワークとの接続により、国際的なコンピュータ・ネットワークとして運用することも十分に考えられる。

このCYCLADESコンピュータ・ネットワークは、建設が進行中のコンピュータ・ネットワークであるため、1974年3月現在の状況がどのようになっているかは不明である。



- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ① CDC 6400 コンピュータ | ⑧ PHILIPS P1100 コンピュータ |
| ② CII 10070 コンピュータ | ⑨ CII 10070 コンピュータ |
| ③ CII 10070 -IRIS 80 コンピュータ | ⑩ CII 10070 コンピュータ |
| ④ CII 10070 -IRIS 50 コンピュータ | ⑪ CII 10070 -IRIS 80 コンピュータ |
| ⑤ CII IRIS 50 コンピュータ | ⑫ CII 10070 コンピュータ |
| ⑥ IBM 360/67 コンピュータ | ⑬ CII 10070 コンピュータ |
| ⑦ CII 10070 コンピュータ | ⑭ MITRA 15 |

図3-8 CYCLADES コンピュータ・ネットワークの構成図

3.2 通信システムにおけるネットワークの事例

3.2.1 アメリカとカナダを結ぶデジタル・データ・ネットワーク

Trans-Canada Telephone System (TCTS) は、1971年3月に、図3-9のようなカナダ縦断のデジタル・データ・ネットワーク (TCTS デジタル・

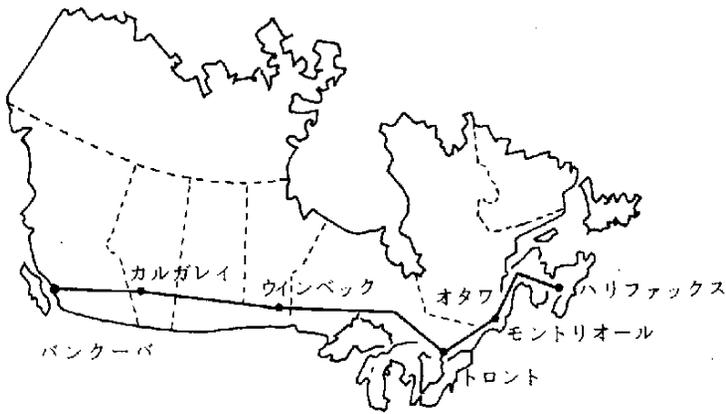


図3-9 計画中のデジタル・データ・ネットワーク網

データ・ネットワーク) を建設することを発表したもので、その概要を説明する。

当初はモントリオール、オタワ、カルガレイ間においてデータ伝送を行ない、それぞれの地域間の伝送速度は、2400ボー、4800ボー、9600ボー、48000ボー、の4通りが可能となる予定である。計画では、1972年に、国内の他の地域とも結んだネットワークに拡張する予定である。このデジタル・データ・ネットワークが完成すれば世界で初めてのデジタル・データ・ネットワークになる。さらに、モントリオール、トロント、ウィンベック、カルガレイ、バンクーバーなどカナダ国の主要な地域のほか、アメリカとも連系する計画がある。カナダとアメリカにおけるデータ伝送の需要が増大すれば、さらに回線交換やパケット交換における新しい技術の進歩や、より速度の早くなる伝送技術の開発などが期待できる。

現在TCTSは、カナダにおける8つの主要な電話会社から構成されている。その構成メンバーの1つのBell Canadaでは、学校の視聴覚教育システムを開発し

てきており、ここで開発された技術によって全国民に情報を提供するデータ・バンク開発の手がかりとしている。現在TCTSは、コンピュータ同士あるいはコンピュータと端末機器（高、中、低、速）間のデータ伝送を扱うようになっており、ここでの経験や技術は今後デジタル・データ・ネットワークの開発に役立つであろう。

TCTSデジタル・データ・ネットワークは、既存の電話回線網と相互補完的に設置され、図3-9のようにカナダのアメリカ国境ぞいに設置される予定である。最終的には、大西洋岸のハリファックスから太平洋岸のバンクーバまでの3500マイルに及ぶ予定である。

オタワ、トロント、カルガレイ間における基本的なTCTSデジタル・データ・ネットワークでは、つぎの4つの要素から構成されている。①ローカル・デジタル・ループでは、それぞれの利用者をもっとも近いサービス・センタに接続する。②このブロックは長距離packageと結ばれる。③それぞれのローカル・デジタル・ループは、トータル・センタのデータ・マルチプレクサを介して、長距離回線と連系している。④4番目のブロックは、T1搬送回線のそれぞれの端に設置され、24コの量子化された音声信号の1つ（64000ビット）を効果的に回線に配布する。

ローカル・デジタル・ループは全二重回線になっており、利用側にはサブスクライバ 端末装置（subscriber terminal equipment (STE)）が設置され、データの送受などをおこなう。STEは、利用者のコンピュータと接続している。ローカル・デジタル・ループは、中央の搬送局と接続していて、途中にoffice loop regenerator (OLR) が設置されている。ローカル・デジタル・ループが4～6マイル以上である場合は、ループ中継交換器（loop regenerative repeater (LRR)）が設置される。OLRは、利用者と中央局との接点となり、信号変換、監視、警報発生、などを扱う。

トータル・センタのデータ・マルチプレクサ (XDM) により、それぞれのローカル・デジタル・ループは、長距離回線と接続している。XDMの役目は、低速

の入力データを高速の 56kbits/s の信号に変換したりまたは、この逆の変換を行なう。T1パルス・コード・モデュレーション(pulsecode modulation (PCM)) システムは、24個の電話チャネルを 1.5 Mボアの速度で搬送する。それぞれのチャネルは 64Kボアの速度であり、56Kボアである XDM の信号速度は、タイム・スロット・アクセス装置 (time slot access unit (TSA)) を使って、このチャネルに挿入される。この信号は、長距離 FM マイクロ波回線に変換され伝送される。この長距離回線の途中、200 から 300 マイルごとに、デジタル・中継交換器が設置される。このことにより、任意の 2 地点間におけるデータ伝送の誤り率は 10^{-7} とかなりよい精度で伝送されることが期待できる。このときの S/N 比は 18dB である。

ネットワーク全体の同期をとるために、システムの各ノードごとに時計が設置され、ネットワークのマスタ時計により従属同期運転される。ここで新しく設計されたデジタル伝送システムの技術は、これからの長距離伝送系に応用されるであろうと考えられる。

3.2.2 日本における電話の回線ネットワーク

電話の回線も 1 つのネットワークと考えられるので、ここに紹介する。

電話の回線ネットワークの基本形としては、図 3-10 に示すように、星形ネットワークと網形ネットワークがある。星形ネットワークとは ABCDE の 5 つの電話局のはかに中央に F 局をおき、A から B の通話は A から F を介して B と通話する。また網形ネットワークとは 5 つの電話局相互間に回線をもつネットワーク

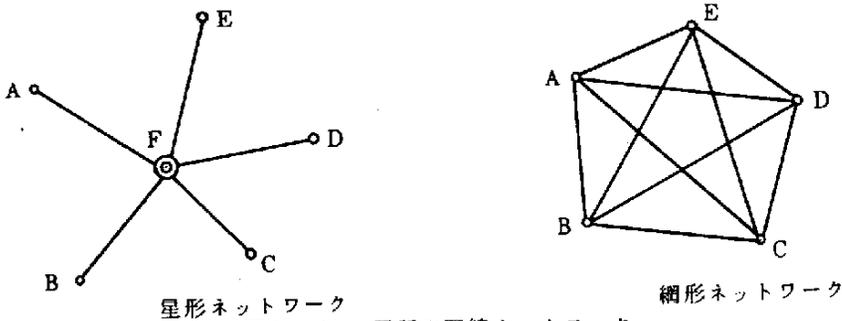


図 3-10 電話の回線ネットワーク

である。

市外電話の回線では、電話局を4つのランクにわけて星形ネットワークの先に星形ネットワークをつないでいく多段星形ネットワークの形をとっている。4つのランクとは、総括局、中心局、集中局、端局である。端局は現在5000余あり、集中局は557であり、中心局は78局であり、最上位の総括局は8局である。さらに、星形ネットワークの回線のはかに、各地域相互間でままとると相当の通話量になる区間があれば、これを直接結ぶ方法を取り入れていて、図3-11に示すようなネットワークになっている。

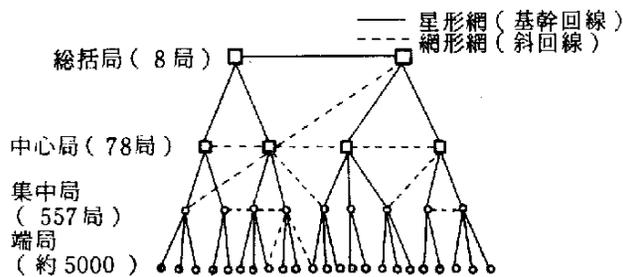


図3-11 市外電話の回線網

このように、星形と網形を併用したネットワークは複合回線ネットワークとよばれている。この場合、星形ネットワークの回線を基幹回線、斜めに連結する回線を斜回線と名づけている。通話の少ない区間は基幹回線を、通話の多い区間は斜回線を通して通話を行なっている。このような電話回線の構成は、階層構造とネットワーク構造の利点をうまく活用した例として考えられる。すなわち、斜回線を設置していることによって、回線延長が短くなり、また経由する交換機の台数も少なくなり経済的なネットワークとなっている。通常、斜回線は高能率で使用され、これからあふれた通話が自動的に基幹回線を経由するように設計されている。すなわち、図3-12に示すように、集中局Aから、端局Bに通話をする場合、①、②、③、④、⑤という斜回線が存在しているときは、まず①、②、③、④という順に斜回線を選び、それらがすべて話し中であれば集中局Aの属する区域の総括局Aへの斜回線を選び、これも話し中であれば、中心局への基幹回線を選

ぶこととして、なるべく経由する局の数を少なくし、しかも回線の長さを短くするように交換機は設計されている。

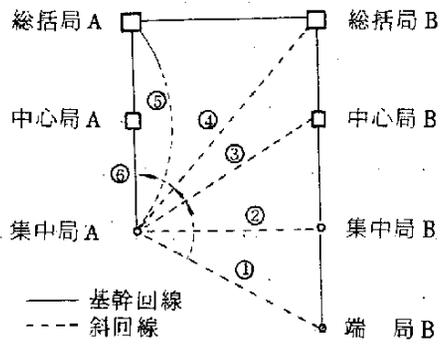
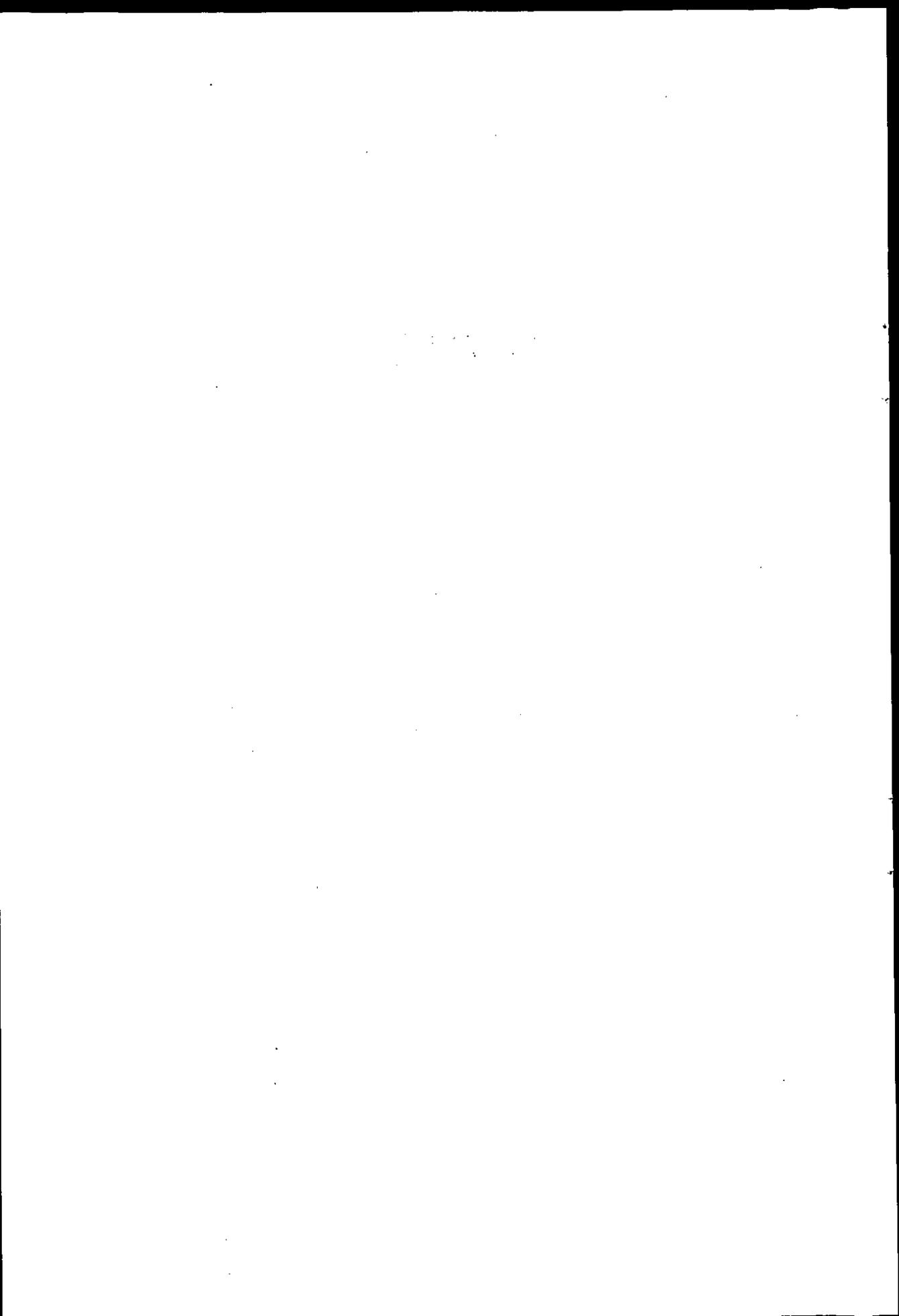


図3—12 中継順路

4. 事例研究



4. 事例研究

4.1 シミュレーションによるコンピュータ・ネットワークの考察

複数台のコンピュータがネットワーク状に連繋して、おたがいの資源を共用しあうことができるように、通信回線を介して結びついたコンピュータ・ネットワークの機能を定量的に評価するためには、解析的な評価方法では限界があることをすでに指摘した。ここでは、従来の解析的な評価方法を補うといった意味で、簡単なコンピュータ・ネットワークのモデルを構築し、コンピュータ・ネットワーク内の各コンピュータが時間とともに、どのような振舞いをするのかといったことを明らかにし、コンピュータ・ネットワークを構成するうえでの意義を考察してみることにする。

4.1.1 モデルの構築

ここで構築したコンピュータ・ネットワークのモデルは、図4-1のような3台のコンピュータが結びついたもっとも簡単な構成を考えた。このコンピュータ・ネットワークの構成は、アメリカのミシガン大学に設置されているMERITコンピュータ・ネットワークと類似している。

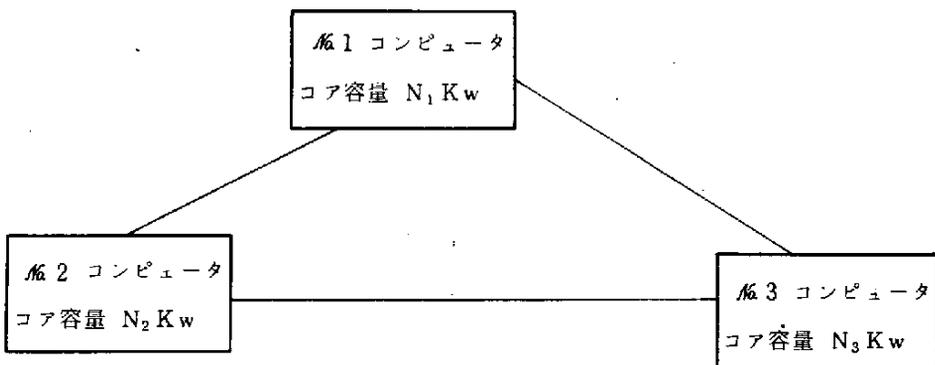


図4-1 モデルの構成図

このコンピュータ・ネットワークのモデルで、それぞれのコンピュータに到着したジョブが、できるだけ早く処理され、ジョブの依頼者に引き渡されることがのぞましい。しかし、それぞれのコンピュータは、いつでも、ただちに到着したジョブを処理することはできない。コンピュータが混んでいれば、到着したジョブの処理を開始するまである時間待っていなければならない。そこで、到着したジョブがある時間以上待つようなことになると、ただちに、他のコンピュータに移して、ジョブを処理してもらい、結果をまたもどしてジョブの依頼者に引き渡すようにする。このような機能をもったコンピュータ・ネットワークを利用するとき、利用者がジョブを依頼して、その結果が得られるまでの時間、すなわちターンアラウンド・タイムを求めてみる。そしてこのターンアラウンド・タイムを評価することによって、コンピュータ・ネットワークにおけるロード・シェアリングの意義というものに考察を加えてみる。

モデルを構築するうえで考慮した前提

- ㉑ 到着したジョブはすべてのコンピュータで処理することができるジョブである。
- ㉒ それぞれのコンピュータが到着したジョブを処理できるかできないかは、すでに使用しているコンピュータのコア容量の空いているコア容量で規定する。すなわち、到着したジョブが使用するであろうコア容量以上のコア容量がコンピュータ内に空いていなければ、そのジョブはただちに処理されない。
- ㉓ 各コンピュータに到着したジョブが、一定の時間以内に処理を開始できない場合は、一番早く処理を開始できるコンピュータにジョブを送る。
- ㉔ 到着したジョブを処理するとき、コンピュータがそのジョブを単独で処理する場合と複数個のジョブを同時に処理する場合とでは、処理時間は変わらない。
- ㉕ ジョブの伝送にかかる時間やコストはかわらず、伝送中のエラーも発生しない。
- ㉖ 各コンピュータの機能はまったく同じもので、ただ、コア容量だけが異っている。
- ㉗ 到着したジョブは、コンピュータのコア容量がいっぱいで処理できないとい

う場合以外、到着したジョブを他のコンピュータへ送らない。

4.1.2 パラメータの設定

シミュレーションを行なうために必要なパラメータは、当財団に設置してあるコンピュータの利用状況を参考にして設定した。まず、コンピュータで処理してもらうために到着したジョブのコア・タイム、コア・サイズを決めるため、実際にコンピュータで処理したジョブにおいて、かかったコア・タイムとコア・サイズがどれ位であるかを調査してみた。このとき、ジョブの種類として、FORTRANとCOBOLを考え、それぞれについて別個にコア・タイムとコア・サイズを調査してみたら、図4-2のような結果が得られた。このため、シミュレーションでは、コア・タイムとコア・サイズの分布をつぎのように考えた。すなわち、No.1とNo.2のコンピュータに到着するジョブのコア・タイムは平均値60秒の指数分布とし、コア・サイズは図4-3のような分布を適用した。さらにNo.3のコンピュータに到着するジョブのコア・タイムは平均値50秒の指数分布とし、コア・サイズは図4-4のような分布を適用した。さらに、各コンピュータに到着するジョブの時間間隔としては、3台のコンピュータそれぞれのジョブ到着時間間隔のピークがずれたり、ピークが一致したりするような時間間隔を設定した。また、コンピュータに到着したジョブが、ただちに処理されず、他のコンピュータに移さなければならないとき、到着したコンピュータのところに最低限待っていない時間、30秒、60秒、120秒としてそれぞれの時間についてシミュレーションを実施した。

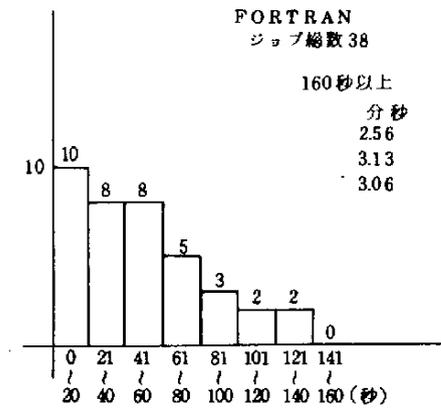
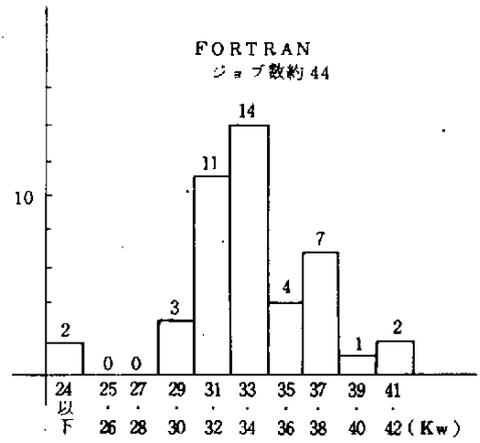
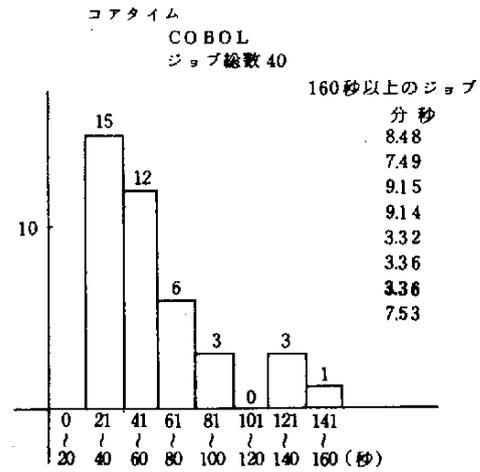
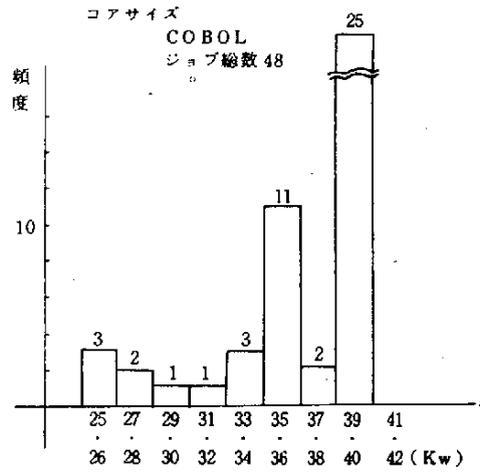


図4-2 ジョブのコア・サイズとコア・タイム

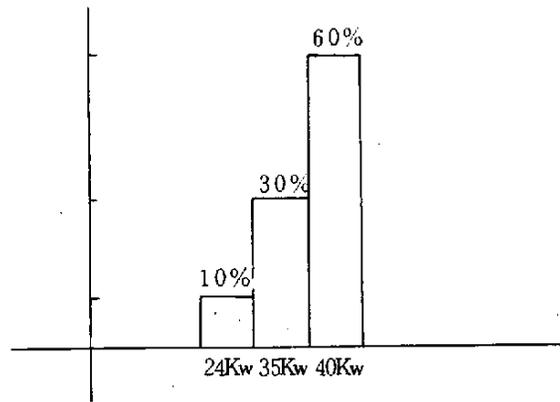


図4-3 No.1, No.2のコンピュータに到着するジョブのコア・サイズ

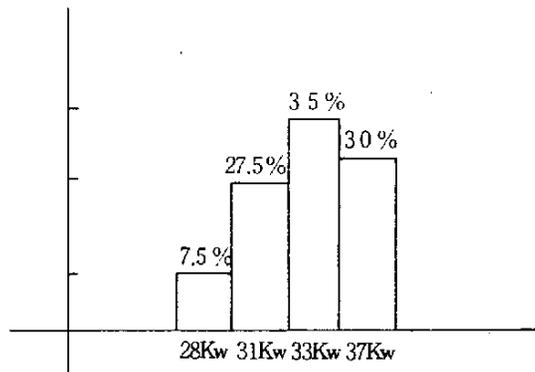
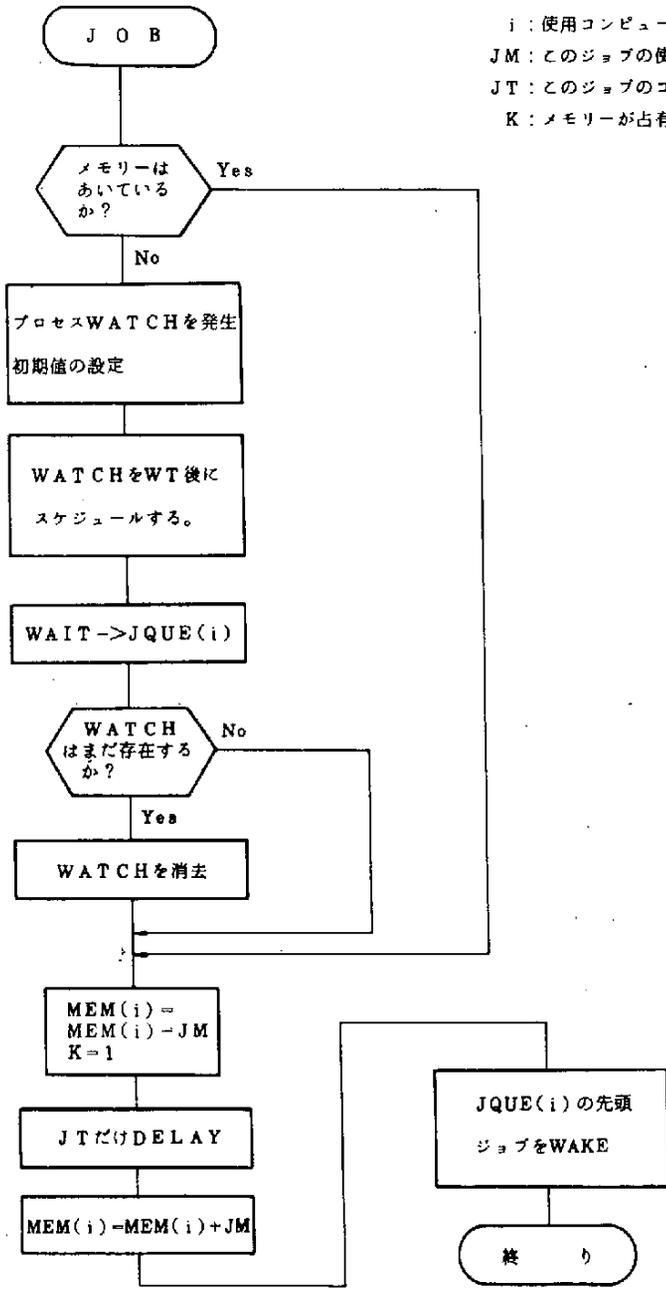


図4-4 No.3のコンピュータに到着するジョブのコア・サイズ

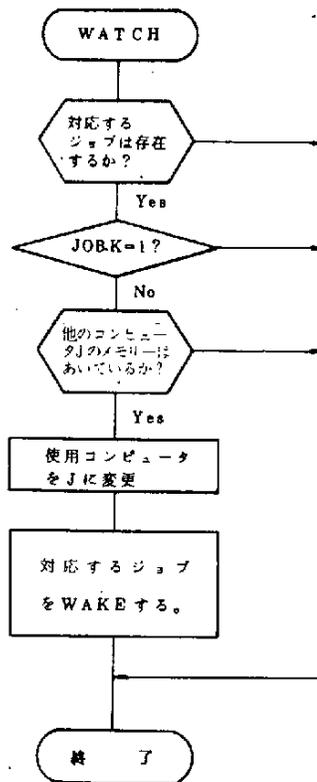
4.1.3 シミュレーションの実施

シミュレーションは、当財団が開発したシミュレーション言語SIMBOLとFORTRANを使って実施した。SIMBOLはインタラクティブにシミュレーションを実施することができるので、今回のシミュレーションのようにパラメータをいろいろ変えていく場合には便利である。また、FORTRANでシミュレーションを実施すると、めんどろで、無駄な手間をかけるように思われるが、シミュレーション言語にあるような制約を考えずにモデルを構築することができるので、ここではFORTRANによるシミュレーションも実施してみた。なおSIMBOLによってモデルをプログラミングしたときのフローチャートを図4-5に示し、プログラム・リストの1部を図4-6に示す。



i : 使用コンピュータ
 JM : このジョブの使用メモリーサイズ
 JT : このジョブのコアタイム
 K : メモリーが占有できたら1にする。

図4-5 シミュレーション・モデルのフローチャート



ACTIVITY WATCH

INTEGER J, L

ELEMENT JOB

IF \neg EXIST {JOB} GO TO FIN

IF JOB:JOB.K#1 GO TO FIN

LET J = JOB:JOB. I

LET L = MODE(J, 3) + 1

IF MEM(L) \geq JOB:JOB. JM GO TO TRANS

LET L = MODE(L, 3) + 1

TRANS .. IF MEM(L) < JOB:JOB. JM GO TO FIN

LET JOB:JOB. I = L

WAKE \leftarrow JQUE(L)

FIN .. END

```

ACTIVITY JOB
INTEGER I, K, JM
REAL JT, ST
ELEMENT WATCH
LET ST=TIME
IF MEM(I) < JM GO TO USE
NAME WATCH:=NEW WATCH
NAME WATCH:WATCH. JOB:=SELF
SCHED WACTH DELAY WT
WAIT —> JQUE(I)
USE... IF EXIST(WATCH) DESTROY WATCH
LET MEM(I)=MEM(I) - JM
DELAY JT
LET MEM(I)=MEM(I) + JM
WAKE <— JQUE(I)
END

```

図4-6 SIMBOLプログラムの1部

シミュレーションを実施した結果としては、当初考えられていたとおり、各コンピュータに到着するジョブの時間間隔のピークが一致したときには、ジョブのターンアラウンド・タイムは大幅に増加するが、ジョブの到着時間間隔のピークがずれているときには、ジョブのターンアラウンド・タイムは減少することが確認された。

4.2 共同研究開発におけるコンピュータ・ネットワーク

4.2.1 研究開発におけるネットワーク化の意義

米国におけるコンピュータ・ネットワークの急速な発展に刺激されて、わが国

においても官公庁の研究機関，大学，計算センター間で高速度伝送回線によって散在するコンピュータ・システムを結合し，ネットワーク化することにより，利用効率の向上，あるいは資源（resource）の共有による利用内容の高度化をはかることが鋭意検討されている。

コンピュータ・ネットワークは，その典型的な1例である米国ARPAネットワークにしてもいまだ4年あまりの利用実績しかないというように，現在，まだ発展段階にあるのが実情であり，したがってその効果を定性的のみならず定量的に評価することは，公表されている運用データが十分でないこともあってかなり困難な問題である。とくに投資額に対しての利得という点から，費用効果比を定量的に検討することは，十分な運用データが得られたとしてもつぎの理由から多くの困難を伴うと考えられる。すなわち，

- a ネットワーク化による利得は，ネットワーク完成前の状況と完成後の状況とを比較することにより検討されなければならないが，ネットワークの目的が単純な負荷の平準化（ロード・シェアリング）であると限定しても，たとえばターンアラウンド・タイムの減少を経済的な単位で評価することは困難である。
- b コンピュータ・ネットワークの目的は，単純な集中化された情報検索システムの目的のような場合と異なって，多岐にわたっている。すなわち，後者の場合には，たとえシステムの規模が大きなものであっても，基本的にはファイルに対する書き込み，あるいはファイルの検索というような定型的な業務が主な目的となるのに対し，前者の場合には，とくにARPAネットワークのように，研究開発の促進のためにネットワーク化がはかられる場合には，資源の共有化（リソース・シェアリング）が中心となり，ネットワークの利用形態も高度化してくる。たとえば資源のうち，とくにソフトウェアの資源について考えてみると，プログラムとデータ・ファイルに大別出来ようが，あるターミナルから他のノードのHostコンピュータを利用しようとするときには，自分のノードのHostコンピュータに用意されていない特殊なソフトウェア（たとえば特殊な計算のための原子力コードというように）になることが多いと予想される。同様にデ

ータ・ファイルを利用する場合にも、単なる情報検索的な利用形態ももちろん予想されるが、多くの場合、利用者自身のアプリケーション・プログラムの入力データとして他のHostコンピュータのもつデータ・ファイルの一部を利用すると、さらに複数のプログラムとデータ・ファイル（これらは地域的に離れたコンピュータに散在している）と有機的に結合していくような利用のモードが多く存在すると考えられる。このような利用形態におけるネットワークの価値評価が必要になってくる。

- c. 研究開発におけるコンピュータ・ネットワークの利用について考えると、すでに説明したように固定した手続きフロー（業務の処理順序）にしたがって情報の処理や、伝送をおこなうことは困難であり、処理内容や処理結果によって適宜手続きフローを適応的に変更していかなければならないことが多い。言い換えると、手続きフローの各所に人間による意思決定、判断が介在し、また場合によっては、手続きフローの全体に対する割合において、人的要素、すなわち、意思決定、判断、あるいは研究グループの構成要員間の打合せなどが大きくなってくる。このことは、コンピュータ・ネットワークにおいて機械化によって高効率化できない面が多いこと、さらにコンピュータ・ネットワークを介在しない構成要員間のコミュニケーション・ネットワークの演ずる役割りが大きいことなどを考慮しなければならないことを示している。この点をさらに拡張して考えると、人間関係すなわち、グループを構成する研究員による中間研究結果の討論、研究スケジュールの打合せ会などにおける人間関係などが、より重要な考察対象であることである。

第2章で述べてきたように、コンピュータ・ネットワークの利害得失を論議するとき、とくにその1つの目的である資源共有化（リソース・シェアリング）には定量的に評価し難い要素が多く含まれていることに注意する必要がある。

ここでは研究開発におけるネットワーク化の意義について、ソフトウェアの共同研究開発の内容をモデル化して、この共同研究開発にネットワーク化がどのような効果を及ぼすかを検討し、コンピュータ・ネットワーク開発における問題点

を浮き刻りにしてみる。

4.2.2 考察の対象とするモデル

研究開発の1つの典型的な例として、ある企業(仮にA社と呼ぶ)に現在準備され、実際に各種の業務に用いられているデータ・ベースの情報をを用いて特定の処理を行なうためのアプリケーション・プログラムの開発をとりあげて考えてみる。このプログラムの開発のニーズはA社の担当者グループの間に発生したものであるが、相当程度の数理計画手法の知識と問題の掘り下げた検討が必要であったが、A社におけるマンパワーの欠如および当該問題に関する経験者の不足から、外部研究機関の援助を必要とし、種々の検討を重ねた結果、このアプリケーション・プログラムの基本的なアルゴリズムの研究開発をある大学(仮にB大学と呼ぶ)の担当教授とその研究グループに委託することになった。その後A社とB大学のそれぞれの担当者が10数回にわたる予備的な打合せ会をもち、約6ヶ月後に計算アルゴリズムの粗案がまとまった。そして、小規模なテスト・プログラムを作成し、テスト・データを用いてチェックして最小限の条件は満すプログラムを完成した。しかしながらこのプログラムをA社のデータ・ベースのデータを使って実規模のシステムについて処理を実行できるようにするためには、開発したアルゴリズムを理解することはもちろんであるが、各種のソフトウェア上の問題点、たとえばデータ・ベースで用いられている各種のコードを新たに開発したプログラムで用いているコードの間のコード変換、A社のもつ他のアプリケーション・プログラムとのリンケージ、使用するコンピュータの1語のビット数の差(32ビットと36ビット)による誤差の検討など、ソフトウェアの専門家の知識と経験を利用したほうが得策であると判断される問題が生じたため、上記の諸問題の処理をあるソフトウェア会社(仮にCセンタと呼ぶ)に委託した。

以上のように当初、A社の担当者グループの間で発生した問題解決のニーズは、A社、B大学、Cセンタの3者の共同研究開発という形をとることになった。

以上がこの共同研究開発の大略であるが、つぎにこのプログラム開発にあたっ

て発生した問題点を列挙してみよう。

- a. B大学とCセンタはいずれもある大都市に所在し、公共交通機関で40分程度の距離にあるが、A社は列車で4時間程度を要する地方都市に所在している。このため、プログラムの予備的な検討や細部の打合せのために、すでに述べたように10数回にわたりA社とB大学の担当者が会合をもち、また電話による連絡、各種ドキュメントの郵送などをひん繁に行なったにもかかわらず、A社とB大学の地理的な制約から十分な情報交換をなすことが出来ず、このため、プログラム仕様の変更などの際の手違いから研究開発の日程が大巾に遅れる結果となった。
- b. B大学のプログラム開発は主としてU社の大形コンピュータ・システムを用いて行なったが、この結果開発されたプログラムをA社およびCセンタのコンピュータ・システム(いずれもI社製の大型汎用コンピュータ)で処理しようとするとき、プログラムはすべてFORTRAN言語で書いたのにもかかわらず、異機種で共通しない要素が存在したため、プログラムの手直しにかなりの期日を要した。(コンピュータの違いによって生じた要素とは、1語のビット数の差異による計算精度の低下や行列計算における1次元配列と2次元配列の差異などである。)
- c. 開発したアプリケーション・プログラムはFORTRANで2500ステートメント程度の小規模のものであるが、このソース・プログラム・デックの輸送が郵便事情により遅れたためかなりの日程の遅れの原因となった。またこれ以上重要な問題であったのは、A社のデータ・ベースに格納されているデータをもとに実規模のシステムについてテスト・ランを行なうとき、どのようにしてA社からこのデータ・ファイルをCセンタに送るかということであった。最善の方法は、A社に設置されたI社製のコンピュータ・システムを用いてテスト・ランを行なうことであるが、A社における現有のコンピュータ・システムの利用状況および他の企業秘密に関するデータがこのデータ・ベースに含まれているなどの理由でCセンタにおいてA社が独自に用意したデータを用いてテスト・

ランを行なわなければならなかった。

d. このアプリケーション・プログラムの開発に用いたコンピュータ・システムは、基本的なルーチンの開発段階では、B大学設置のI社製中形汎用コンピュータを主として用いたが、開発が進むにしたがってB大学のソフトウェア開発担当者がCセンタの大形汎用コンピュータを用いて実規模のテスト・データを流し、さらに他のソフトウェアとのリンケージや前述のコード変換などの仕事はCセンタのソフトウェア技術者が行ない、最終的にはA社の担当者がA社に設置されたI社製の大型汎用コンピュータのディスクの中のデータ・ベースを用いて実運用のランに入るというように、プログラム開発には多種多様のコンピュータが用いられた。この過程で問題となったのは、コンピュータの利用料金をどのように負担するかであった。とくに第2段階では、B大学の担当者がCセンタのコンピュータを利用したが、この場合の処理料金はA社が負担するとりきめになっているが、A社としてもCセンタにおける利用料金は予算の範囲内で行なう必要があり、CセンタにおけるB大学の利用状況をどのように管理するかが問題となる。とくに開発の後期では、1組のテスト・データを用いた1回のテスト・ランでも相当の計算費用を要し、そのテスト・ランの結果が意味のある結果かどうかによってつぎのテスト・データについて計算を実行すべきかどうかを判定する必要があるが、A社とB大学が地理的に遠隔地にあるため、無意味なケースについてのテスト・ランが行なわれる可能性は多い。これはこのソフトウェアの利用者が遠隔地におり、また開発担当者によるデバッグも遠隔地で行なわれたため生じたことによる。

4.2.3 ネットワーク化によって予想される効果

4.2.2項で述べたように、モデルとして考えた研究開発プロジェクトにはいくつかの問題点があり、このため、完成日程の遅れや開発費の増大という予期しなかった結果が生じた。このような問題点は、類似プロジェクトにおいても普遍的に遭遇する問題であると考えられるが、第2章までに述べてきたコンピュータ・

ネットワークがどのような問題を解決する効果をもっているかについてつぎに若下の考察を行なうことにする。

まず第一に前述のモデルで、共同開発に従事する3つの機関の間で、情報交換をどのような形で行なったのかを整理してみると大略つぎのようになる。

a. 文書による情報交換（郵送あるいは打合せ会に担当者が持参）

- ① 研究開発の目的、内容に関する仕様（A社からB大学へ）
- ② ゼネラル・フロー図（主としてアルゴリズムに関するもの）（B大学からA社へ）
- ③ ディテイル・フロー図（B大学からA社へ）
- ④ テスト・データ・リスト（A社からB大学へ）
- ⑤ A社のデータ・ベースおよび他の関連プログラムの仕様（A社からB大学へ）
- ⑥ テストランの出力リスト（B大学からA社へ）
- ⑦ その他（議事録など）

b. カードおよび磁気テープによる情報交換

- ① 実規模のテスト・データ（A社からB大学へ）
- ② B大学の開発したプログラム（B大学からA社およびCセンタへ）
- ③ コード変換プログラム（A社からCセンタおよびB大学へ）
- ④ A社の関連プログラム（A社からCセンタへ）
- ⑤ C社でリンケージした全体のプログラム（CセンタからA社へ）
- ⑥ その他

c. 口答による情報交換

- ① 各種の会合、報告書作成会など
- ② 電話連絡
- ③ その他

以上のように文書、カード・テープ、口答という形で3つの機関における情報交換がなされたわけであるが、ここで注意すべきことは、このA社、B大学、Cセンタの3つの機関で共通した情報内容が相当量あることである。とくに文書に

よる情報交換は、口答によって交換された情報の確認・保存という場合が多く、単独に文書の交換だけで情報の伝送が行なわれることはそれほど多くない。

さて共同研究においてコンピュータ・ネットワークを利用するといった面から考えると、Host コンピュータ間でのメッセージの伝送・交換という通信システムのネットワークを利用することにより、共同研究における情報の交換をコンピュータ・ネットワークにおいて行なうことが可能となる。とくにB大学における情報の交換は、通常の入出力装置によって直接行ない得るものが多いので、従来の郵便や入手を介した情報交換方法よりもはるかに迅速に、また安価になる。コンピュータ・ネットワークに用いられる各種コミュニケーション・メディアの単位情報量あたりのコストについては、米国での試算例が報告L. G. Roberts, B. D. Wessler: (資源の実用を目的とするコンピュータ・ネットワークの開発) されており、たとえば100万ビットの情報を1400マイル(Host コンピュータ間の平均距離)伝送するのに郵便の場合2ドル3セント(航空便, 250words/ページのもの4ページ, 1語=30bit)に対し、2000ボ-程度の専用線で57セントから1ドル54セント、50キロ・ボ-では47セントから23セント程度となると試算されており、また伝送速度は比較にならないほど回線によるほうが早い。

つぎにA社における情報交換について考えると、この場合、伝送される情報はいわゆる文書情報や図表などのパターンに関するものであり、とくに図表(流れ図など)は通常の入出力装置のほかに特殊な装置を必要とし、現在考えられているコンピュータ・ネットワークの応用形態としてはやや特殊なものとなる。もちろん数値情報を入力としてその処理結果を遠隔地においてCRTなどに表示することは容易であるが、ここではとくに図形入力の問題となる。さらに前にも述べたように、文書情報の多い、このモデルのような研究開発においては、Cセ-ンタにおいては情報交換した結果を確認したり保存したりする目的でハード・コピー化したものが多く、文書情報の交換速度の増大が、ただちにプロジェクト完成日程を大巾に早めることにはならないことに注意する必要がある。

Cセンタにおける情報交換は、意見の交換やスケジュールのとりきめ、さらに、ヒューマン・リレーションズを密接にするといったような要素を多分にもち、情報伝送をコンピュータ・ネットワークの回線を通しておこなうとすれば、少なくとも文書情報の形に変換する必要があるが、文書情報の交換のみによってCセンタにおける情報交換の目的をすべて遂げるということは著しく困難であり、回線による迅速なメッセージ伝送の利点を全く生かしていないことになる。

以上のように考えてくると、情報交換においてコンピュータ・ネットワークによる顕著な効果が期待できるのはB大学における情報交換のみであると予想される。いいかえるとB大学における情報交換の迅速化のメリットを十分生かされるのは、ソフトウェアの開発の各段階において、とくにプログラムのディバグおよびテスト・データによるテスト・ランをおこなう段階である。しかしながら、研究開発は、前にも述べたように各種のステップから成り立ち、したがって上述の特定のステップにおけるメリットのみを過大評価してコンピュータ・ネットワークの利点のみを強調するのは危険であるように思われる。

これまで情報交換という点からコンピュータ・ネットワークの意義を研究開発における立場で論じてきたが、つぎに遠隔地にあるソフトウェアおよびハードウェア資源を利用するという立場からコンピュータ・ネットワークの意義を考察してみよう。まずこのモデルにおいて利用された資源を列挙してみるとつぎのようになる。

a. ハードウェア資源の共同利用

① A社およびCセンタの大形汎用コンピュータ（A社のデータベース用ディスク）

② B大学の中形汎用コンピュータ

b. ソフトウェア資源の共同利用

① Cセンタにある大次元行列演算についてのプログラム・パッケージ

② A社にあるコード交換プログラムおよびこれに付属したCセンタにあるユーティリティ・プログラム

“資源”という言葉がどのような内容をもつかによって異なるが、ここであげた資源とは自己の所属する機関のコンピュータには登録されていないなかったり、あるいは利用経験がないため、他の機関のコンピュータがもっているソフトウェアのうち、直接利用したもののみを挙げた。このほか、マンパワーや利用経験者、スペシャリストといった人的資源は最大源に相互利用されたが、コンピュータ・ネットワークにおけるリソース・シェアリングの資源としては考えられないので除外した。しかしながら人的資源の最適配分がこのような共同研究開発においてもっとも効果が大きいことはいうまでもない。

いま仮にこの共同研究において3つの機関を結ぶコンピュータ・ネットワークたとえば米国のMERITネットワークのようなコンピュータ・ネットワークを利用できたと仮定すると、考えられる利用形態の1つはつぎのようになる。

- a. プログラム開発の初期段階から、B大学の担当者は、B大学の中形コンピュータの代りにCセンタまたはA社の大形コンピュータを利用する。これは前に述べたコンピュータの機種の違いによって生ずるトラブルを未然に防ぐためと、中形コンピュータの限られたコア容量のためオーバ・レイなどの手法を使わなければならないめんどくささをさけるためであるが、場合によってはロード・シェアリングの効果を期待することもできよう。
- b. B大学からCセンタの大形コンピュータを利用したテストランの結果を、CセンタからA社に伝送し、その結果によって他のデータのケースについてテストを行なうか、あるいはプログラム仕様の変更を行なうかをA社からB大学に直ちに指示することができよう。
- c. 開発済みのプログラムはただちにB大学からA社へ伝送し、秘密保持を必要とする自社データを用いてランを行なうことができる。

またこの結果を他の2つの機関にフィードバックすることも迅速に行なわれ得る。

以上のように共同の研究開発におけるコンピュータ・ネットワークの役割は大きく、とくに仕事の迅速な処理には大きな寄与をすることが予想される。しかしな

がら、とくに数値情報化されないデータや抽象的な情報交換をネットワークを通しておこなうことは、これからの問題であり、研究開発の各ステージを全体的な観点から、ネットワーク化の意義を論ずる必要があるだろう。

5. 今後の課題



5. 今後の課題

最近、情報処理システムの多様化にともなって複数台のコンピュータをネットワーク状に連繫することが考えられているが、この場合には、個々のコンピュータに分担させる仕事の内容を十分に分析して、ネットワーク化の効果を適確に評価することが肝要である。コンピュータ・ネットワークの機能を十分に発揮させるためには、たとえば、処理時間は短いが大規模の記憶容量を必要とする事務処理用コンピュータと記憶容量は少なくてすむが、比較的長い処理時間を必要とする科学技術計算用コンピュータを連繫するといった具合に、それぞれの長所を活かし、短所を補う形でコンピュータ・ネットワークを形成しなければならない。いいかえれば、単にコンピュータを通信回線で結合するだけでは、コンピュータ・ネットワークの効果をのぞむことができない。ところで、コンピュータ・ネットワークの稼動状況に関する実際のデータは、これまでのところきわめて少ない。そこで、この研究では、バッチ処理におけるコンピュータの利用状況に関するデータからモデルのパラメータを想定してコンピュータ・ネットワークのモデル実験を行ない、上記の結論に達したのである。実際、通信回線の利用状況とか、ジョブのターンアラウンド・タイムとか、ソフトウェアの利用頻度などについてのデータはまだ十分に収集されていないので、コンピュータ・ネットワークを形成することによって期待される効果や、コンピュータをネットワーク状に連繫することの意義などを定量的に評価することは困難である。

今後の課題としては、現在稼動しているARPAコンピュータ・ネットワークやMERITコンピュータ・ネットワークなどの利用状況を十分に検討し、それから得た実際のデータにもとづいてコンピュータ・ネットワーク形成の意義を定量的に評価することである。たとえば、ARPAコンピュータ・ネットワークでは、互いに遠く離れている多くのHostコンピュータや端末から、ネットワーク内に散在する特殊なプログラムを使えるようにしたり、リソース・シェアリングを、コン

ピュータ・ネットワークの意義として強調しているが、もしその特殊なプログラムの利用頻度が少ないようであれば、このリソース・シェアリングの効果はきわめて小さいことになる。そこで、コンピュータ・ネットワークを合理的に運用するためには、通信回線を通してその特殊なプログラムがどれ位利用されたかを調べてネットワークの構成をたえず再検討しなければならない。また、さらに情報処理システムのネットワーク構成では、単にコンピュータを通信回線で連繫することだけではなしに、プログラムやデータの郵送などといった、いわゆる人間を介した連繫の手段も考えるべきである。コンピュータ間あるいは、コンピュータと端末の間でやりとりされていたデータは、これまでのところ英数字だけを考えているが、今後は、単に英数字だけではなく、文章のやりとりとか、映像のやりとりなど、従来の情報処理ではあまり考えていなかった種類のデータまでも含めた情報処理システムを構築するための研究を行なう必要がある。今後の課題としては、データ・ベースやファイルのネットワーク化に関する研究や、文書情報処理のためのコンピュータ・ネットワークに使用するハードウェアとソフトウェアの開発などが考えられる。とくに、わが国においては、漢字かな混り文によるメッセージのコミュニケーションという新しい情報処理の体系を確立することが重要な課題である。

—— 禁無断転載 ——

昭和 49 年 3 月 発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発センター

東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号

機械振興会館内

TEL (434) 8211 (代表)

印刷所 三協印刷株式会社

東京都渋谷区渋谷 3-11-11

TEL (407) 7316

