

## コミュニケーションネットワークにおける創発的集団構造：シミュレーションによる分析

高木 英 至 (埼玉大学教養学部)

Predicting the emergent group structures in communication network situations: A computer simulation analysis

Eiji TAKAGI (*Faculty of Liberal Arts, Saitama University*)

The group-level findings in classical experimental studies of communication networks may be considered the outcome of some complex psychological mechanisms. Alternatively, they might be mere reflections of the task structures of communication networks, and could be obtained even if human subjects reacted 'automatically.' In order to resolve such ambiguity, a computer simulation model was constructed, separating the task structures and the artificial subjects' response characteristics. This simulation model roughly reproduced the findings of communication network studies in terms of the following: (a) the increased efficiency of non-centralized networks relative to the Wheel network in the case of high task-difficulty; (b) role-structures in the respective networks; (c) the positions of 'leaders' in several networks; (d) the special task demand imposed on the Wheel network. In sum, findings of the communication network research can be understood to be reflecting the task structures of the experimental situations to some degree. Implications and limitations of this study are discussed.

Key words: communication networks, computer simulation, genetic algorithms

キーワード：コミュニケーションネットワーク、コンピュータシミュレーション、遺伝的アルゴリズム

コミュニケーションネットワーク（以下CNと略）の実験的研究の成果には理論的にいかなる意義があったのか？——本稿が議論するのはこの点である。

Bavelas (1950)、Leavitt (1951) にはじまるCN研究は社会心理学における集団研究の最盛期を代表する。CN研究の概要は、主要なCNの型の図とともに、ほとんどの社会心理学のテキストの何頁かを飾っていた。今日、個人心理に力点を移した社会心理学のテキストは必ずしもCNに言及しない。しかし集団過程に触れるテキストは現在でもCN研究にある程度の頁を割く (e.g., Baron, Kerr, & Miller, 1992)。何よりも重要なのはCN研究の主要な知見が社会心理学者の常識の一部をなして来たことである。社会心理学者は、集団過程への関心の有無にかかわらず、少なくとも次のようなCN研究の知見を心得ているだろう。①中心性の高いCN (e.g., Wheel型) で成員間の階層的な役割分化が生じやすい (e.g., Guetzkow, 1960)。②特に「リーダー」は中心的位置で出現しやすい (e.g., Leavitt, 1951; Shaw, 1954a)。③中心性の高いCNは単純な課題で、中心性の低いCNは困難な課題で、効率となる (Shaw, 1964)。④成員の満足度はCNの型や位置に依存する。中心性の高いCNの成員や周辺的位置の成員は満足度が低い (e.g., Leavitt, 1951; Shaw, 1954b)。

CN研究のみかけ上の魅力は、コミュニケーションと

ネットワークという、当時としては斬新な2つの用語で自らを表現したことにある。だが仔細に見ればCN研究がその後のコミュニケーション研究やネットワーク研究の先駆であったと割り切ることはできない。CN研究は何よりも課題集団の構造と過程の研究だった。成員の全員が持つ別々の情報をすべて集めてはじめて解ける課題を、CNという構造的制約の下で集団がいかにか解決するかを研究していた。

集団研究としてのCN研究は、集団レベルの創発的秩序の出現を個人レベルから説明する、という今日的な理論的視点 (e.g., Nowak & Latané, 1994; 山岸, 1992) から見て格好の素材を提供している。特定のCN制約の下で生じるコミュニケーションや役割のパターンは集団レベルの秩序に他ならない。この秩序を個人レベルからいかに説明するか？こうした疑問に取り組む場としてCNの実験状況は適している。CN実験の状況は集団としての実質を備えながら、なおも個人（被験者）の行動の自由度が適度に制限されており、したがって雑音が低い状況で集団における創発性を観測できると見込めるからである。CN実験の知見の理論的な吟味は創発的秩序を理解する重要な手がかりを提供するはずである。

だが私見ではCN研究には重要な点であいまいさがある。CN研究は集団レベルの過程に対するCNの効果

を見出して来た（たとえば上記①～③）。問題は、これらの効果がCNによる構造的制約が自動的に導くものなのか、それともCNの相違が生み出す固有の心理過程の所産なのか、という点である。

CN実験の構造的制約や課題を知る人なら上記の知見を、③を除いて、不思議とは思わずに納得してしまうだろう。CNにはもともといくつかの構造的特性が埋め込まれている。たとえば中心的位置にあれば必ずとコミュニケーションは容易である。こうしたCNの制約の下で被験者が機械的に反応すれば、上記の知見は必ずと得られるかも知れない。「機械的に」とは、たとえば、右から来た情報を左に流し情報が手元に揃ったら解を出すことを意味する。もしこの可能性が妥当するなら、CN研究の知見は実験装置に反映された構造的制約から直接的に導かれたと考えるべきだろう。

他方、CN研究の知見は固有の心理過程を経てはじめて生じた可能性もある。Geutzkow (1960) はCNに対する被験者の知覚が役割分化を媒介することを示唆している。Shaw (1964) は③の知見にある種の心理過程 (Independence と Saturation) によるやや難解な説明を適用する。あるいは、異なった型のCNが被験者に対し作業分担に関する異なったヒューリスティックスを喚起し、そのヒューリスティックスに応じた役割分化を生じさせたかも知れない。もしこうした要因を導入してはじめてCN研究の知見が説明できるなら、同知見は固有の心理過程を情報として伝えていると考えるべきである。

CN研究の知見がどのように生じたかを推測するため、本稿ではコンピュータシミュレーション（以下、シミュレーションと略）を適用する。まず仮想の実験状況 (CN および課題) と被験者をシミュレーションモデルとして構築する。仮想被験者は課題に対する単純な反応だけを発する。このシミュレーションモデルがCN研究の知見と大勢で異ならない結果を産出するなら、CN研究の知見は構造的制約の反映と推測してよい。逆に知見の説明に仮想被験者側の複雑な反応特性が要請されるなら、それら知見は当の反応特性に対応した心理過程から生じたと考えることができる。

ここでシミュレーション利用の意義を強調しておきたい。シミュレーションは社会心理学の特殊な領域にだけ適用できる特殊な方法であると認識されやすい。だがシミュレーションは「普通の社会心理学の研究」の中で適用可能な普通の方法である。シミュレーションが可能にするのは比較的複雑な要因からなるモデルの含意を効率的に導出することである。この種の導出が必要であるならどの領域でもシミュレーションを適用する余地がある。現にシミュレーションモデリングは個人レベルの反応にも (Smith, 1991)、対人関係にも (Kalick & Hamilton, 1986)、集団過程にも (Stasser & Taylor, 1991)

適用されている。今後も適用の促進をはかるべきだろう。

シミュレーションの適用を特に要請するのは被験者に対する有意義な実験的操作が困難な場合である。本稿が扱うCN研究の問題がまさにその場合に当たる。現実の人間被験者は様々な心理的機能を備える。たとえばある課題に直面したときその処理を導くヒューリスティックスを一様に身につけているかも知れない。そうしたヒューリスティックスが集団レベルの結果を産み出しているかどうかを評価したくても、そのヒューリスティックスがない人間被験者を揃えるのは難しい。だがシミュレーションモデルは研究の要請に応じて仮想被験者の行動特性をいかようにも構成可能にする。

### シミュレーションモデル

構築したモデルがシミュレートするのは、仮想被験者の集団が特定のCNの下で課題を解決する過程である。モデルの構成要素は大別して環境 (CN と課題) と仮想被験者の反応特性に分かれる。モデルの中で時間は離散的に経過すると仮定する。つまり時間は短い単位時間 (ステップ) ごとに離散的に推移する。

#### 環境

環境とは仮想被験者が埋め込まれるCN、および仮想被験者集団が取り組む課題である。まずCNを $N \times N$ の2値(01)行列 $N$ として表現する。 $N=(n_{ij})$ とすれば、位置 $i$ から位置 $j$ への情報経路が開いているとき $n_{ij}=1$ 、閉じているとき $n_{ij}=0$ である (ただし $n_{ij}=0, i=j$ )。 $N$  (仮想被験者の数) とCNの型は自由に変更できる。情報経路は一方方向的 (有向グラフ) でも双方向的 (無向グラフ) でも構わない。CN研究の事例は情報経路が双方向的な場合に集中している。だから以下の分析では双方向的情報経路からなるCN ( $N$ は対称行列) だけを考える。

CN研究を通して眺めれば実験に用いる課題の内容は多様である。単純な課題の代表は共通シンボル課題である。複雑な課題とされるのは算術課題、文や漢字の構成などである。これらの課題の形式的な共通性は次の3点にある。第1は各被験者が初期状態で固有の (他の被験者が持たない) 課題情報を持つこと、第2は全員の課題情報を集めてはじめて課題の解が出せること、第3は全員が実験者に解を報告した時点で課題遂行が完了したと判断すること、である。モデルにはこの形式性だけを組み込む。課題情報はその初期保持者のIDで識別される。すべての課題情報を手元に保有する仮想被験者だけが解を出せると仮定する。仮想被験者の全員が解を実験者に報告すると1セッションが終了する。

課題は「解決困難度」において異なる。解決困難な (複雑な) 課題とは、すべての情報を集めた仮想被験者が1人で解決するのに要する期待時間が長い課題であ

## 高木：コミュニケーションネットワーク

る。解決に要する時間はガンマ分布にしたがうと仮定する。ガンマ分布は一般に反応時間の確率分布として理解されている (McGill, 1963)。また、待ち行列におけるサービス完了時間の確率分布などとして OR でも広く用いられている (Law & Kelton, 1982)。ガンマ分布は指数分布と同様に、平均が高くなれば分散も大きくなるという性質を持つ。

## 仮想被験者の課題行動

仮想被験者の行動を次のようにプログラムする。仮想被験者は選択局面と遂行局面に交互に入る。選択局面では遂行すべき作業がある限り作業を1つ選ぶ。遂行局面で作業を遂行する。選択局面の所要時間は1ステップ、遂行局面の所要時間は以下のように作業による。

選択できる作業は次の4種類だけであると仮定する。

①情報伝達 自分の課題情報もしくは他者から受け取った課題情報を、選択した1人の他者に送る作業である。別の相手への同じ情報の伝達は別の情報伝達行動と考える。送る情報とは、現時点で送信者が保持し、選択した相手にまだ送っていない情報である。仮想被験者は現時点で保持する情報の中でまだ送っていない情報があり、かつ自分との間でチャンネルが開いている他者を認識する。そしてその他者の中から、送信相手を無作為に選ぶ。ただし前回のセッションで自分が解を出す以前に解を送って来た相手を優先的に選択する。情報伝達の所要時間(ステップ数)は送信するメッセージを書くステップ数とメッセージ送信自体の時間の和である。

②解答 まだ解を得ておらず、すべての課題情報を保有した状態で選択局面にある仮想被験者は確率  $P(S)$  で解答を選択する。解答を選択すると次ステップ以降の遂行局面で仮想被験者は解答に専念する。すぐに解答に専念するのが集団にとって最適か否かは無前提には判断できない。早く解答に専念すれば早く解を得やすい。しかし解答中は情報伝達を行わないので、より早く解答できるかも知れない他の成員が解答者となる可能性が犠牲になる。解を得るまでの所要時間は上記のガンマ分布の乱数から決める。

③達成報告 自分で解を出すか他者から解を受信することによって解を得た仮想実験者は、次の選択局面で達成報告を選び、続く遂行局面で達成を実験者に報告すると仮定する。報告の所要時間は1ステップである。

④解伝達 達成報告の後は優先的に解伝達に移る。現時点でまだ解を送っておらず、かつ自分とのチャンネルが開いている他者の中から、送信相手を無作為に選ぶ。解伝達の所要時間は1ステップとする。①か②の作業中に解を受信したときは作業を中止し③および④に移行する。

モデルには仮想被験者の「構え」という要素を組み込む。上で仮定した通りに行動するならば、仮想被験者は課

題情報を送信する役割と解を出す役割を、潜在的には常に担うことになる。だが実際の CN 実験では情報を集めて解答に専念する者、情報の中継をする者、自分の課題情報を送って解を受け取るだけの者、などに分化することがよくある (Guezkow, 1960)。こうした役割分化は、上記の仮定だけでも、CN 上の位置に応じた制約によって結果として生じることは可能である。だが位置の制約に応じて特定の役割を担う構えを被験者が持つ、と考えるのは自然な仮定である。仮想被験者の構えがシミュレーションの過程で変化することで、モデルの中で役割分化がより生じやすくなるだろう。

構えには次の3状態があると仮定する。状態1: 自分では③の解答を放棄し、課題情報の伝達①に専念する。解は他者に依存する。状態2: 解答と情報送信の両方を行う。状態3: 解答(と解伝達)に専門化し作業①を行わない。状態2がデフォルトの状態である。状態1は受け身の役割、状態3は中心的役割への構えを示す。構えの状態は潜在変数であり、仮想被験者の外顕的行動とは必ずしも対応しない。たとえば Wheel 型の CN の周辺的位置の仮想被験者は、もし状態1であるなら、課題情報を送って解を受け取るだけである。解を送る相手は見出せない。だが同じ状態1の仮想被験者でも別の CN の下では、課題情報や解の中継者になるかも知れない。

同一セッション中は各仮想被験者の構え状態は変化しないと仮定する。最初のセッションでは全員がデフォルトの状態2にある。以後のセッションでは現在の構えの状態と直前のセッションの結果に応じて状態は変化できる。同一集団でも位置によって構えが異なることがある。セッション間での構えの変化は次の方式で変化する。状態2にある仮想被験者は、直前のセッションで自分で解を出さず解を他者に依存したなら確率  $P(1|2)$  で状態1に移る。同じく状態2にあり、直前のセッションで自ら解を求め他者に解を依存しなければ、確率  $P(3|2)$  で状態3に移る。また、状態1ないし3にいる仮想被験者は、直前セッションでの集団の課題遂行がまずければ現在の作業配置を変更しようとする、と考える。すなわち、前回のセッションで状態1[3]にあり、かつ課題遂行時間(ステップ数)が前々回より  $N(2|1)$  [  $N(2|3)$  ] 以上多ければ状態2に戻る。

さらに、状態1ないし3であるとき、もし現セッションでのステップ数が前セッションのステップ数をこえたならば、各ステップで、仮想被験者は確率  $P(R)$  で現在凍結している作業(状態1なら②、状態3なら①)を選択可能と再定義すると仮定した。この再定義をしたとき、次のセッションで構えは状態2に復帰する。

## パラメータ

このモデルの挙動は2種類のパラメータの値によっ

て変わる。仮想被験者の課題行動を決める行動パラメータと環境要因を定義する環境パラメータである。

行動パラメータは既述の6つの値、つまり P(S)、P(R)、P(1|2)、P(3|2)、N(2|1) および N(2|3) である。行動パラメータによって表現を意図したのは、作業配列に関する仮想被験者側の志向性が「集権的」か「平等」かという点である。実際 CN 研究でよく取り上げられた個人特性とは、権威受容傾向など、集権的配列に対する親和性だった (Shaw, 1964)。P(S)、P(1|2)、P(3|2) の値が高いことは集権的配列への個人レベルでの誘発性を表わしている。既述のように、P(1|2) と P(3|2) は作業を仕切る者と仕切られる者への役割分化を促進する構えに他ならず、P(S) の高さは他の成員が “Keyperson” となることを排除する効果を持っている。逆に P(R)、N(2|1)、N(2|3) は役割分化傾向を解除する方向に働く。ただし後3者は P(1|2) と P(3|2) の値が高いときだけ集団過程に影響を及ぼす。その意味で6つの値のうち積極的な意味を持つのは P(S)、P(1|2)、P(3|2) である。仮想被験者は同質と仮定し、以下では集団の全成員間に行動パラメータの同じ値をあてはめる。

環境パラメータには次の4つがある。集団サイズ、CN の型、情報伝達時間を決めるパラメータ、解答に要する時間を決めるパラメータ、である。以下の分析では集団サイズを5とおく。CN の型には、代表的な Wheel、Chain、Y、Circle、および ComCon (All-Channel) を用いる。

既述のように情報伝達時間は送信するメッセージを書くステップ数とメッセージ送信自体の時間からなる。初期の CN 実験ではメッセージをスロットを通して瞬時に直接伝達できる装置を用いている。そこで以下ではメッセージ送信自体の時間を最小ステップ数の1とおいた。また課題情報のメッセージを書く時間は課題情報数に比例すると仮定し、課題情報数と等しいステップ数をあてた。

解答時間はランダムに変わる。解答時間に整数化 (四捨五入) したガンマ分布乱数値を代入する。また解答にとりかかるとに微小な時間がかかると考え、一律に最小ステップ数1を加える。ガンマ分布のパラメータによって解答時間 (課題の困難度) を操作する。以下では課題の困難度に応じて低困難度条件、中困難度条件、高困難度条件を作る。ガンマ乱数の平均 [標準偏差] はそれぞれ、 $1[1]$ 、 $6[3\sqrt{2}]$ 、 $12[6\sqrt{2}]$  である。

### 分析 1: 最適行動パターン

CN がどのような行動を被験者に促す構造であるかをまず調べる。環境条件 (CN と課題困難度) ごとの行動パラメータの最適値はそうした構造を知る1つの手がかりを与える。最適値の条件間での相違は、各々の CN

が課題の条件ごとに、被験者に何を要請するかの違いだからである。なお本稿では「最適化」は「課題達成までのステップ数の最小化」だけを意味する<sup>1)</sup>。

最適値を求める方法として遺伝的アルゴリズム (genetic algorithms) を用いた。遺伝的アルゴリズムとは解析的に最適値を求めることができないときに近似的最適値を求めるヒューリスティックな計算手法の1つである<sup>2)</sup>。求めるべき最適値の候補を遺伝子として表現し、遺伝子群 (遺伝子プール) の中で進化を生じさせて近似的最適値を求める<sup>3)</sup>。

3 (課題困難度: 高 / 中 / 低)  $\times$  5 (CN の型: Wheel / Chain / Y / Circle / ComCon)、計 15 の条件で遺伝的アルゴリズムを適用した。遺伝子 (行動パラメータの組) ごとに5試行 (1試行 30セッション) のシミュレーション (1世代) を行い、その平均ステップ数の逆数をその世代での遺伝子の適合度 (fitness) と定義した。50世代までの計算に基づき、その適合度を最適化する遺伝子 (パラメータ) を推定した<sup>4)</sup>。

ここでの遺伝的アルゴリズム適用の問題は、適合値自体が確率的であり、同じ遺伝子でも適合度が一定でないことである。単純に最大適合度を記録した値を最適値とすることはできない。代わって最終世代の遺伝子の平均

- 1) 課題達成時間だけでなくエラー率も CN の効率性の基準に用いられて来た。次の事情から本稿ではエラー率を無視した。第1に多くの CN 実験が単純な課題を用いており、エラー率自体が低い。第2に過去の研究報告でもエラーに関する情報は限られている。
- 2) 遺伝的アルゴリズムは勾配法など旧来の最適法に比べ局所的最適に落ち込むことが少ない。が、手続きが一意ではなく、計算の精度が手続きや課題によって変わることが問題点の1つである (e.g., 米澤, 1993)。本研究で用いた手続きの動作は解析的解のある別の最適問題で確認した。
- 3) 本研究での操作は以下である。遺伝子は6つの行動パラメータの値からなる。各行動パラメータの値を8ビットの2進数 (例: 10011010) で表現する。例えば、P(S) などの確率の値 1.0 には 11111111 が対応する。1つの遺伝子は  $(8 \times 6 =) 48$  桁の2進数である。遺伝子の各桁の初期値はランダムに決めた。遺伝子プールを50の遺伝子で定義した。遺伝子プールの中から10の遺伝子ペアを選択し、ペアごとに2つの子遺伝子を作らせる。前世代の成績 (適合度) が高い遺伝子が確率的に選ばれやすい。子遺伝子は親遺伝子に交叉を施して求める。つまりランダムに選んだ箇所2進数の値を交換する。各遺伝子のその世代での適合度を計算し、適合度の低い旧遺伝子の子遺伝子と入れ換える。遺伝子には突然変異がおこる。つまり一定の確率で各桁の値は別の値 (1なら0) に変化する。この選択・交叉・突然変異を世代ごとに繰り返す、より適合した遺伝子を進化させる。プログラミングでは平野 (1995) を参考にした。

を「最適値」とした<sup>5)</sup>。

最適値の推定結果を Fig. 1a~c にまとめる。遺伝子プール内で生き残った困難度-CN 型条件別のパラメータの値は分散が低い。遺伝子プールの値にあえて困難度×CN 型 (3×5) の分散分析を適用した (条件ごとの観測数は 50)<sup>6)</sup>。N(2|3) に対する困難度の主効果だけを除き ( $F(2, 375) = .29, ns$ )、6つのパラメータの値に対する困難度の主効果 ( $F(2, 375)$ ) は 5.59 から 31.60,  $ps < .005$ 、CN 型の主効果 ( $F(4, 375)$ ) は 7.79 から 372.02,  $ps < .001$ 、交互作用効果 ( $F(8, 375)$ ) は 3.12 から 12.66,  $ps < .005$ ) は何れも有意である。

Fig. 1a~c は次の 2 点を要約的に伝えている。第 1 に、課題情報が集まったときは早期に解答に入るのが合理的である。つまり P(S) の値は困難度や CN 型にかかわらず 1 に近い。

第 2 は役割分化への構えを示すパラメータ、つまり P(1|2) と P(3|2) が CN の型によって異なったパターンを示すことである。しかもそれらのパラメータは CN の中心性指標 (Flament, 1963) にそった変異を示している。P(1|2) と P(3|2) は、中心性が高い Wheel 型では 0.5 前後の値になるのに対し、中心性が低い Circle と ComCon では 0.0 に近づく。中心性が中間的である Chain と Y は、低困難条件で Wheel と Circle・ComCon の間の値を示し、中・高困難条件で Circle・ComCon とほぼ同じ値になる。なお Wheel 以外の CN では役割分化への構えが低い (P(1|2)、P(3|2) の値が 0.0 に近い) ため、役割分化の構えの解除傾向を示すパラメータ (P(R)、N(2|1)、N(2|3)) の値はシミュレーション過程にはあまり影響を与えていない。

上の第 2 の傾向が意味するのは、中心性が低い Circle や ComCon に比べ中心性が高い CN、特に Wheel では、役割分化への課題要請が構造的に強いことである。効率的に作業しようとする限り Wheel の被験者は役割分化への圧力を受ける。あるいは、役割分化

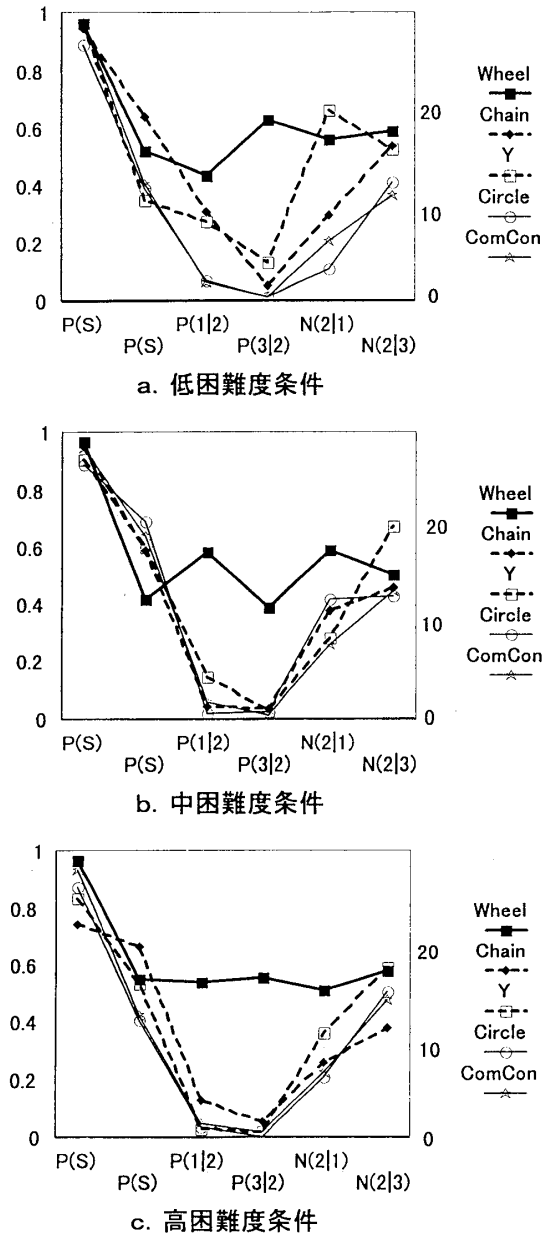


Fig. 1 行動パラメータの最適値

左側の Y 軸の目盛は P(S)、P(R)、P(1|2)、P(3|2) の値を、右側の目盛は N(2|1)、N(2|3) の値を表わす。

への構えを持った被験者が割当てられるときに Wheel 型の CN は効率的に動ける可能性がある。

## 分析 2: 解決時間

最終世代の遺伝子 (分析 1) が記録した平均ステップ数を困難度条件ごとにまとめた (Fig. 2a)。分析 1 同様にあえて分散分析を適用すれば、困難度の主効果 ( $F(2, 375) = 4851.354, p < .001$ )、CN 型の主効果 ( $F(4, 375) = 394.85, p < .001$ )、および交互作用効果

- 4) 局所的最適周辺にあったと思える遺伝子群は 50 世代までには淘汰され、結果が安定することを確認した。
- 5) 最終世代の遺伝子プールの中に明確に分離した複数のクラスターが存在する場合があります。その場合、平均値を最適値とおくことは無意味である。複数のクラスターがあるか否かを判断するため、条件別に最終世代の遺伝子に階層的クラスタ分析と MDS を適用した。6次元の標準スコアから得た遺伝子間のユークリッド距離の行列をもとにした。遺伝子プール内に異質なクラスターはないと判断できた。
- 6) 正確に言えばこの分散分析の適用は不適切である。第 1 に遺伝子プール内の遺伝子は「血縁関係」にあり、独立とはいえない。第 2 に、値の分布は上限 (1.0) ないし下限 (0.0) で切断される可能性がある。

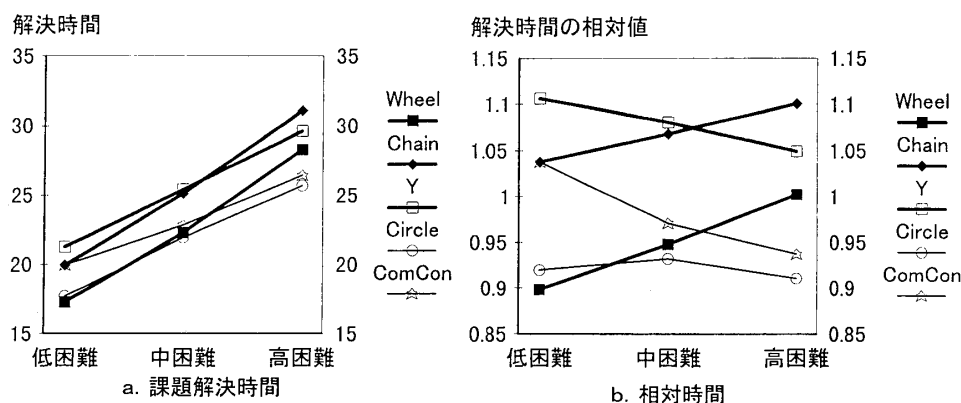


Fig. 2 最適値における課題解決時間

( $F(8,375)=35.59, p<.001$ )は何れも有意である。むろん困難なほど時間がかかる。困難度×CN型の交互作用を明示するため、Fig. 2bには各困難度での全体の平均を1としたときの相対的な課題完了時間を示す。中心性が高いWheel(およびChain)では課題が困難になるほど相対的に課題解決速度が落ちている。しかし中心性が低いCircleは終始解決時間が短く、ComConは相対速度が向上している。この結果は中心性が高いCNの効率性が、低いCNと比較して、課題が困難なときに低下するという知見(Shaw, 1964)に符合する<sup>7)</sup>。つまりCNの構造がShawらの知見を生み出す可能性があることを示す。

Fig. 2の結果は困難度×CN型の条件ごとに最適化を果たしたときの結果だった。条件によって行動パラメータの値は異なる。だが被験者を各条件にランダムに割当てたとすれば、行動パラメータの値は条件間で同じでなければならない。そこで同じ行動パラメータの値をすべての条件の仮想被験者に一律にあてはめた3つのシミュレーションを実施した。各シミュレーションにおいて、困難度×CN型(3×5)の各条件で100試行(1試行30セッション)を繰り返した。試行の30セッションでの平均ステップ数を従属変数とした分散分析は、ど

7) Shaw (1964)はWheel、Chain、Yを中心性の高いCN、CircleとComConを中心性の低いCN、と区分してこの知見を述べている。しかしShaw (1964)が参照する研究のうち充分な蓄積があるのはWheel、Circle、ComConに関する実験結果である。ここではYとChainはShaw (1964)の知見の範囲から除外して考えておく。

8) 困難度の主効果は第1、2、3のシミュレーションでそれぞれ、 $F(2,1485)=16252.35, 13046.54, 5278.13$ だった( $ps<.001$ )。CN型の主効果は同様にそれぞれ、 $F(4,1485)=1382.60, 919.67, 334.64$ だった( $ps<.001$ )。交互作用効果はそれぞれ  $F(8,1485)=110.85, 76.75, 6.73$ だった( $ps<.001$ )。

のシミュレーションでも、2つの主効果と交互作用効果がすべて有意だったことを示す<sup>8)</sup>。

第1のシミュレーションでは仮想被験者が常にデフォルトの状態2にあると仮定した( $P(1|2)=P(3|2)=0.0$ とおいた)。仮想被験者に役割分化への構えは存在しないため、役割分化の解除傾向を表わすパラメータ( $P(R)$ 、 $P(2|1)$ 、 $P(2|3)$ )は結果に全く影響しない。 $P(S)$ には分析1の中困難度における全体平均(=.93)をあてた。Fig. 3aは従属変数の平均にFig. 2bと同様の処理を加えて表わしたグラフである。中心性の低いCircleが困難度にかかわらず解決時間が短い。が、傾向はFig. 2の場合と変わらない。つまり、中心性が高いWheelは困難な条件で相対的な効率性を下げ、中心性が低いComConやCircleは効率性を上げる。

第2のシミュレーションは中困難条件における、中心性が低いCircleの行動パラメータの最適値(分析1)をあてはめて実施した(Fig. 3b)。行動パラメータが導くはずの役割分化への構えは第1と次の第3のシミュレーションの中間的である。Fig. 3bはFig. 2とほぼ同じ結果を再現している。

第3のシミュレーションでは、中困難条件における、中心性が高いWheelの行動パラメータの最適値をあてはめた。このシミュレーションではWheelがどの困難度条件でも相対的な優位を保った(Fig. 3c)。だがより困難になるほどWheelの相対的効率性が落ちるという傾向に変化はない。

この3つのシミュレーション結果は次の2点を示している。第1は、中心性が低いCircleやComConに対する、中心性が高いWheelの効率性は、課題が困難になるほど低下する、という点である。第2に、しかし、どのCNが効率的になるかは行動パラメータに依存することである。仮想被験者が役割分化への構えを持ちやすいとき(Fig. 3c)、中心性が高いWheelが圧倒的に効率的になる。仮想被験者が役割分化を無視するとき、逆に中心性が低いCNの効率性が際立つ。

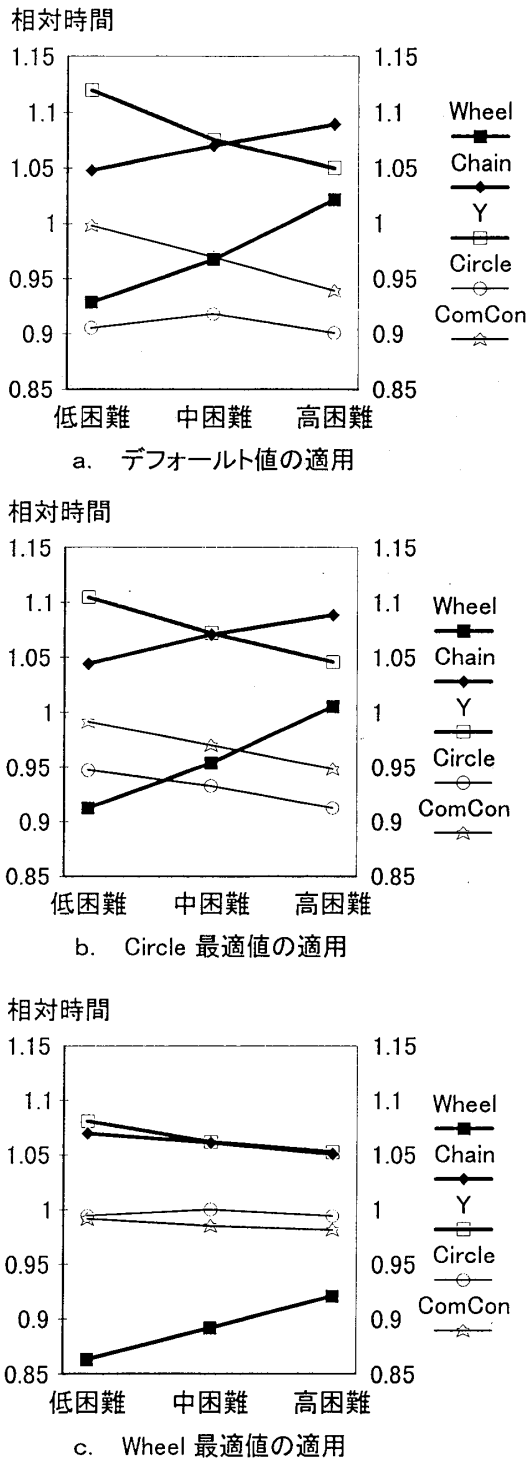


Fig. 3 課題解決時間

高困難条件での ComCon、Circle の効率性の相対的向上は役割分化（下記）によって説明できる。課題が困難になると解決時間の分散も高くなる。だが役割分化の少ない Circle、ComCon では、複数解答者のプールにより、高分散のリスクを緩和できる。つまり最も早く出た解を利用できる<sup>9)</sup>。

分析 3: 役割分化

分析 2 のシミュレーション結果を用い、このモデルが CN 内のいかなる役割分化を予測するかを検討する。

CN での役割分化の研究 (Cohen & Bennis, 1961; Guetzkow, 1960) の用語を継承し、各セッションでの仮想被験者の役割を事後的に次の 4 つ (2×2) に分類する。分類軸は自分で解を求めたか否か、およびまだ解を得ていない相手に解を送ったか否か、である。自分で解を出した者のうち、他者にその解を送信した者を Key-person、他者にその解を送信しなかった (送信してもその相手は既に解を得ていた) 者を LoneSolver と呼ぶ。自分で解を出さなかった者のうち、受け取った解を他者に送信した者を Relayer、他者に解を送信しなかった者を Endperson、とする。シミュレーション結果からこの 4 役割の分布を検討した。

位置を通した役割の出現率を Fig. 4 に示す。Fig. 4a は分析 2 の第 1 のシミュレーションと同じデフォルトの行動パラメータ、および中困難度の課題を仮定したときの役割の分布である。Fig. 4b は Wheel の最適行動パラメータ (分析 1) - 中困難度課題を仮定したときの分布である。Circle の最適行動パラメータをあてはめても分布は Fig. 4a とほとんど変わらない。Fig. 5a にはデフォルト行動パラメータ - 中困難度課題のときの Keyperson の出現位置 (%表示) を示す。

シミュレーションが導く CN 型別の役割分布は次のように要約できる。Wheel と Chain の場合は条件にかかわらず同じ役割パターンが出現する。Wheel では、当然ながら、中央の Keyperson が 4 人の Endpersons と対する 2 層の組織が生まれる。Chain では中心位置が Keyperson、その両隣が Relayers、末端が Endpersons である 3 層の組織となりやすい。Y では役割分化の構えが強いとき (Fig. 4b)、中央に Keyperson が位置する組織となり、役割分化の構えがないとき (Fig. 4a) は LoneSolver が増える。役割分化への構えがある場合 (Fig. 4b)、Circle は Chain 同様の 3 層の組織となりやすく、ComCon は Wheel と同じ 2 層の組織となりやすい。役割分化の構えがないときは (Fig. 4a)、Circle と ComCon はともに 'each-to-all' のパターンを示し複数解答者体制となる。CN 実験での役割を分析した研究 (Cohen & Bennis, 1961; Guetzkow, 1960; Guetzkow

9) この解釈を確認するため、課題完了時間にガンマ乱数の期待値 (定数) をあて、行動パラメータに第 1 のシミュレーションの値を用いてシミュレーションを再実行した。予期した通り、再実行したシミュレーションでは課題困難度×CN 型の交互作用を示す F 比 [F(8,1485)] が 110.85 から 4.39 に低下した。ただし 4.39 でもまだ有意である。

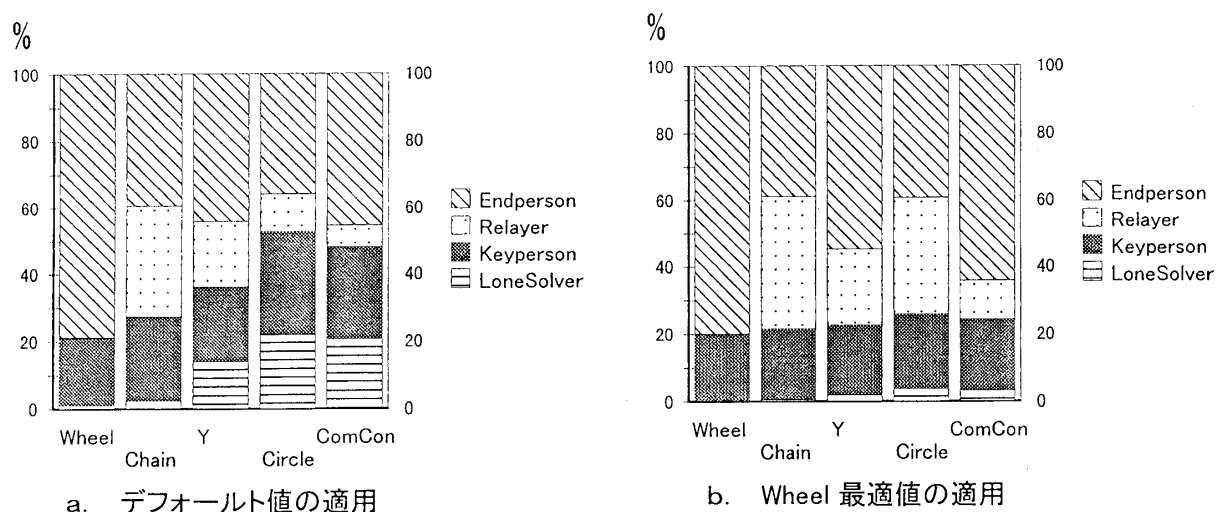


Fig. 4 役割の出現率

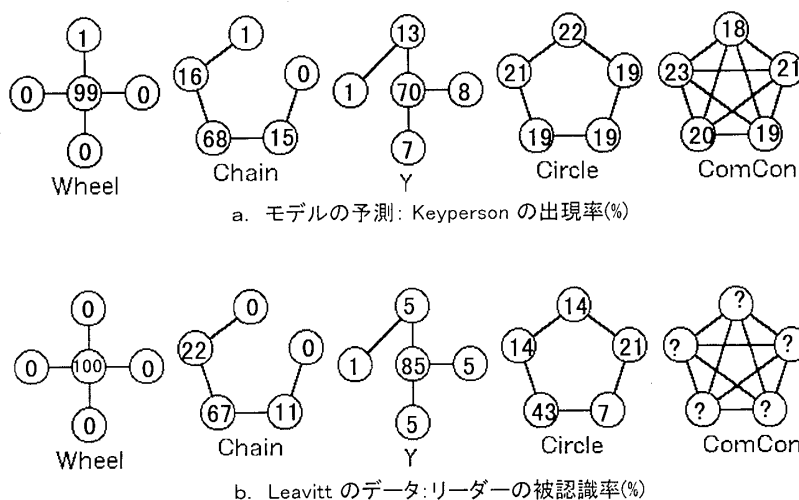


Fig. 5 位置別のリーダーの出現率

& Simon,1955)は Wheel、Circle、ComCon における役割分布の情報を提供している。正確な比較対照はできないものの、それらの研究の記述は以上のシミュレーション結果のヴァリエーションの範囲内にあると判断できる。

リーダーと認知されるのは Keyperson とみなせる。Fig. 5 はシミュレートされた位置ごとの Keyperson の出現度数と Leavitt (1951) データの (集団内で認識された) リーダーの分布 (Bavelas, 1950) を表す。Leavitt データに合わせてパラメータを推定した訳ではないにもかかわらず両者はよく符合している。Wheel、Chain、Y では中心位置の仮想被験者が Keyperson となることが圧倒的が多い。

考 察

結果のまとめ

本稿のシミュレーションモデルは実際の CN 実験と同

じ前提に立つ訳ではない。実際の実験では、被験者が課題開始時に CN の構造を知っていることも多い。場合によっては試行中もしくは試行間に作業分担を協議する。こうした協議は、被験者が既に経験的に獲得していたヒューリスティクスにそった作業分担に集団を導くかも知れない。被験者は様々な心理過程を経験し複雑な反応を示すだろう。対してこのモデルでは、仮想被験者は CN の全体像も知らず、単純に反応するだけである。

こうした相違にもかかわらず、本稿のシミュレーションモデルは既存の CN 実験の基本的知見を次の点で再現している。第1は、課題の困難度が高くなると中心性が高い CN の効率性は相対的に低下し、中心性が低い CN の効率性は向上する、という知見である。第2に、モデルが予測する CN 型別の役割構造は既存の実験の知見と符合している。Wheel と Chain ではそれぞれ、2層、3層の組織が生じる。ComCon と Circle では、同様にそれぞれ2層、3層の組織になることもあれば、



## 高木: コミュニケーションネットワーク

each-to-allの構造を示すこともある。第3に、実験におけるリーダーの出現位置はモデルが予測する Key-person の出現位置とよく符合する。

CNが課する課題要請の推定(分析1)も従来のCN研究の常識と矛盾しない結果を示した。最適行動パラメータについて、WheelはCircle、ComConと対照をなし、YとChainはその中間に位置する。この順番は従来から前提とされたCNの中心性指標の順番とほぼ一致する。Wheelは全体を仕切る者と仕切られる者との分化を要請する。リーダーの権威受容傾向の高さがWheelでは効率性を促進し、ComConでは逆に阻害するという結果(Shaw, 1959)は、モデルによる以上の推定と符合する。

以上を総合すれば次のように結論づけてよいだろう。被験者に単純な反応だけを仮定すれば実験結果の大きな傾向は再現できる、と。このことはCN実験の主要な知見がCNの構造そのものから帰結していた可能性が強いことを意味する。

むろん提示したモデルが実験結果の再現に体系的に失敗した点もある。ChainとYの課題解決時間を一様に長めに推定した点である。Wheel、Circle、ComConと異なりChainとYは実験結果の蓄積が乏しい。にもかかわらず両CNの課題解決が一様に遅いことは、ChainやYを用いた数少ない実験結果(e.g., 広田, 1953)とは明らかに辻つまが合わない。モデルの改良が必要だといわねばならない。

## CN研究からの継承

私見では、CN研究は学説上の古典であるということとどまらず、社会心理学の今後の発展に寄与できる成果である。CN研究は次の2つの点で新たな展開の素地を宿している。

第1はCN研究が集団構造の創発過程の解明の糸口を与えている点である。CN実験は課題集団内の構造がどのように成立するかを単純な実験事態で研究するものだった。本稿のシミュレーションが再現を試みたのもそうした創発的な集団構造の一部である。だが集団構造は課題や環境に応じて別の変異を示すだろう。CN研究は多様な集団構造の説明を可能にするより一般的な理論を構築するための基点をなすと見ることができる。

第2はCN研究がより広範なコミュニケーション状況のメカニズムの解明の基礎資料を提供し得ることである。ネットワーク上のcollaboration(Wellman, Salaff, Dimitrova, Garton, Gulia, & Haythornthwaite, 1996)と考えた場合、CN研究の典型的な状況は次の意味で限定的である。集団規模は小さく、CNの型は固定的であり、参加者は予め固定的であり、決った課題が当事者間で予め共有されており、同時に1つの課題しか扱っていない。こうした条件を考慮したときいかなるネット

ワークが出現するかは、CN研究が必然的に導く次のステップであると考えることができる。

## 引用文献

- Baron, R. S., Kerr, N., & Miller, N. (1992) *Group process, group decision, group action*. Buckingham: Open Univ. Press.
- Bavelas, A. (1950) Communication patterns in task oriented groups. *Journal of the Acoustical Society of America*, **22**, 725-730.
- Cohen, A. M. & Bennis, W. G. (1961) Continuity of leadership in communication networks. *Human Relations*, **14**, 351-367.
- Flament, C. (1963) *Applications of graph theory to group structure*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. (山本國雄(訳) 1974 グラフ理論と社会構造 紀伊國屋書店)
- Guetzkow, H. (1960) Differentiation of roles in task-oriented groups. In D. Cartwright & A. Zander (Eds.), *Group dynamics* (2nd ed., pp. 683-704). New York: Harper & Row.
- Guetzkow, H. & Simon, H. A. (1955) The impact of certain communication nets upon organization and performance in task-oriented groups. *Management Science*, **1**, 233-250.
- 平野広美(1995) 遺伝的アルゴリズムプログラミング パーソナルメディア
- 広田君美(1953) 集団の課題解決と Communication 心理学研究, **24**, 17-25.
- Kalick, S. M. & Hamilton, T. E. (1986) The matching hypothesis reexamined. *Journal of Personality and Social Psychology*, **51**, 673-682.
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (1982) *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Leavitt, H. J. (1951) Some effects of certain communication patterns on group performance. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **46**, 38-50.
- McGill, W. J. (1963) Stochastic Latency Mechanism. In R. R. Bush & E. Galanter (Eds.), *Handbook of Mathematical Psychology: Vol. 1* (pp. 309-360). New York: Wiley.
- Nowak, A. & Latané, B. (1994). Simulating the emergence of social order from individual behaviour. In N. Gilbert & J. Doran (Eds.),

- Simulating Societies* (pp. 63-84). London: UCL Press.
- Shaw, M. E. (1954a) Some effects of unequal distribution of information upon group performance in various communication nets. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, **49**, 547-553.
- Shaw, M. E. (1954b) Group structure and the behavior of individuals in small groups. *Journal of Psychology*, **38**, 139-149.
- Shaw, M. E. (1959) Acceptance of authority, group structure, and the effectiveness of small groups. *Journal of Personality*, **27**, 196-210.
- Shaw, M. E. (1964) Communication networks. *Advances in Experimental Social Psychology*, **1**, 111-147.
- Smith, E. R. (1991) Illusory correlation in a simulated exemplar-based memory. *Journal of experimental Social Psychology*, **27**, 107-123.
- Stasser, G. & Taylor, L. A. (1991) Speaking turns in face-to-face discussions. *Journal of Personality and Social Psychology*, **60**, 675-684.
- Wellman, B., Salaff, J., Dimitrova, D., Garton, L., Gulia, M., & Haythornthwaite, C. (1996) Computer networks as social networks: Collaborative work, telework, and virtual community. *Annual Review of Sociology*, **22**, 213-238.
- 山岸俊男(1992) マイクロ・マクロ社会心理学の一つの方向 実験社会心理学研究, **32**, 106-114.
- 米澤保雄(1993) 遺伝的アルゴリズム 森北出版  
(1998年3月10日受稿, 1998年7月27日掲載決定)