

情報伝達の複雑性を考慮した 通信と交通の情報交流量分担モデル

塚井誠人¹・奥村 誠²

¹ 正会員 工修 広島大学助手 工学部第4類 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

² 正会員 工博 広島大学助教授 工学部第4類 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

本研究は、企業が通信と対面型コミュニケーション（交通）を介して行う地域間情報交流活動を定量的に評価することを目的として、情報交流手段の分担メカニズムの考察を行った。既往の文献から対面型コミュニケーションの特長を整理して、情報伝達の複雑性は情報量の多さではなく、課題の達成に必要な情報交流の複雑性（課題の複雑性）によって表わされることを指摘した。これらの考察より、課題の複雑性のODペアごとの違いを考慮した情報交流量モデルを定式化した。モデルを都道府県間交流データに適用して推定し、さらに重力モデルとの比較を行ったところ、提案したモデルは重力モデルと同等の適合度を示した。またシミュレーション分析により、OD別のコスト弾力性など、情報交流の特性をより柔軟に表現できることが明らかとなった。

Key Words : *inter-regional trips, telecommunication, communication complexity*

1. はじめに

新しい通信ネットワークの整備に対応して、知識集約型産業は重要な産業に成長してきた。これらの産業は、従来の製造業と比較して、1) 大規模な生産設備を必要としない、2) 立地場所を選ばない（フットルース）、といった特徴に加え、「情報」や「知識」が必須の投入財であるため、3) 情報へのアクセシビリティの確保が重要である、とされる¹⁾。換言すると市場や顧客のニーズに応じたサービスの提供を行うためには、他企業や自社の支店などの地域間の情報交流を円滑に行う必要がある、と考えられる。

そのような情報交流の例としては、単なる情報伝達に留まらない知識の創造（新製品の企画、開発等）や、担当者間で行われるさまざまな交渉と合意形成（販売戦略の決定、企画の取りまとめ等）、さらには相手先との信頼関係の構築などが挙げられる。しかし以上のような情報交流は、通常、相手と直接面談する方法（以下、対面型コミュニケーション）がとられることが多い。このことは、ある種の情報交流に対して、対面型コミュニケーションは効率的なメディアであり、通信による代替は容易ではないことを示唆している。したがって、産業を支援するネットワークの整備は通信に偏重すべきではなく、通信と交通の両ネットワークを適切に整備すること

が必要である。その計画を考える上では、通信と交通を介した情報交流の需要を把握することが重要である。

本研究は、企業の情報交流活動の分析を行う。具体的には、業務の情報交流について、通信/交通を介して行われる交流のメディア分担メカニズムを考慮して定式化する。さらに実際の都道府県間の交流データを用いてモデルを推定し、分析フレームの妥当性を検証する。

以下本研究の構成を示す。2. では情報交流における交通と通信の役割に関する既存の研究を整理し、両者の分担が決定されるメカニズムを考察する。これをもとに3. では情報交流量分担モデルを定式化する。4. ではモデルの推定結果を示すと同時に、地域間交流のモデルとして一般的に用いられる重力モデルの推定結果との比較を示す。また、交流コストの変化が交流量に与える影響についてシミュレーション結果を示す。5. では結論とともに、今後の課題を述べる。

2. 業務における情報交流

(1) 既往の研究の整理

通信と交通の間の代替性、補完性の問題に対しては、個人に対するアンケート調査をベースとした研究例が多く報告されている。Moore and Jovanis は、個人の情報

伝達メディア選択に着目した。SP手法を適用してデータを収集してメディア選択行動をモデル化し、内容の複雑さや緊急さの度合いなどの状況がメディア選択に影響すると報告している²⁾。同様に田北らは、伝達情報の特性を整理して仮想的状況の設定に反映させ、SP回答からメディア選択モデルを作成し、情報の種類によってメディアの選好構造が異なることを明らかにした^{3),4)}。

馬場は、実際の情報交流メディアの選択行動結果(RP)に基づいて、電子メールと他のメディアの代替性、および電子会議システムと対面型コミュニケーションの代替性について検討を行っている⁵⁾。土井らは、ダイアリー形式のメディア利用頻度に関する調査を行い、パス解析の手法を適用してメディア相互の代替的關係と補完的關係を見いだした^{6),7)}。さらに Mokhtarian and Meenakshisundaramは、ダイアリー調査を繰り返して行うことで、メディア相互の關係について時系列的なパス解析を試みた⁸⁾。この分析では、メディア相互には補完的關係が多く見られると報告されている。

情報交流インフラの整備水準は、企業立地を含む都市内の地理的構造⁹⁾に影響を与えることが指摘されており、理論的な分析も行われている¹⁰⁾。文は、都市内に立地する企業間の情報伝達について、内容を伝えるために必要な時間によって伝達される情報の質的なレベルを定義した¹¹⁾。その上で、ある質的レベル q のコミュニケーションを行う頻度が密度関数 $n(q)$ に従うと仮定して、通信費用の変化に伴う企業のメディア選択と立地行動を定式化して理論的分析を加えている。小林らは、ミーティング行動の定式化を行い、ミーティング相手の探索とマッチングの繰り返しによる合理的期待均衡を導出し、情報交流インフラの整備による探索費用の減少が、ミーティングの付加価値や発生頻度に与える影響を分析した¹²⁾。

以上を概観すると、実証研究では一様に、伝達される情報の性質(情報量、内容の複雑さの程度、情報伝達の目的など)が、メディア選択に大きく影響することが指摘されている。またメディア間の代替性、補完性については、比較的補完的關係が多いとされているが、明確な結果は得られていない。理論研究では、一都市の構造の変化のモデル化を目的として、情報の性質に着目した分析もなされてはいるものの、都市間の情報交流の分担を扱った研究は乏しい現状である。

(2) 情報交流メディアと情報の複雑性

Daft and Lengel は、企業が情報交流活動を行う目的を、1) 不確かさ(uncertainty)の解消、2) 多義性(equivocality)の解消、の2点に整理した¹³⁾。1)は、どんな情報が必要かが明らかな状況で、必要な量のデータを得るための活動を指す。つまり不確かさとは、情報が

量的に不足している状況を指す。これに対して2)は、模索的試行錯誤的な情報交流活動を指しており、字義が示すとおり、伝達される情報に対して複数の解釈が成立するような状況や、そもそもどんな情報が必要かすら明らかでない状況下の活動を指す。

さらに Daft and Lengel は、対面型コミュニケーションは、言語によってその場でフィードバックが可能なことに加えて、言語以外の身振り手振り、表情や態度といった表現手段を通じて相互に情報への理解を深めることができる点を指摘して、多義性の解消に最も有利であると考察した。一方、電話はその場のフィードバックは可能であるものの、言語以外の表現手段がとれないという点で、多義性の解消については、対面型コミュニケーションに劣るとしている。このように多義性とは、情報交流の質的な側面(複雑さ)を表していると考えられ、字義そのものより大きな概念を含んでいる。以下本研究では誤解を避けるため「多義性」を「複雑さ」と表現する。

情報交流の複雑性と交流メディアの性質に関連して、Olanian は次のような実験を行った¹⁴⁾。まず、複数のグループに課題を与え、一方には通信を介して、他方には実際の対面型コミュニケーションを介して、それぞれ解決策の提案を行わせた後、各々の交流手段の満足度についてアンケートを行った。その結果、対面型コミュニケーションは「議論の深まり」に関する評価が高く、通信ではその評価は低かったと述べており Daft and Lengel の考察を裏付ける結果が得られている。

(3) 複雑性に応じた情報交流メディアの決定

ここで、知的な創造や合意形成等の「ブレインストーミング」や「話し合い」といった個人間の意見のフィードバックが必要な業務上の課題が与えられた場合を想定する。例えば代表的な状況として、1) 複数のメンバー間で情報や意見についてフィードバックが必要な場合、および、2) 新しいアイデアが必要な場合、という2つの状況が考えられる。この情報交流を交通を介して対面型コミュニケーションによって行うとすると、2人以上の複数人が対面した状態で臨機応変のやり取りが行われ、1回の交渉で課題を解決することができる。一方、この情報交流を2者間の通信のみで行うとすると、1回の通信で達成することは困難である。

すなわち、1)の場合は、フィードバックされる情報そのものは単純であっても、メンバーが多くなると必要なフィードバック回数は極めて多くなる。また、2)の場合は、最初の1回の通信で受け手が判断や意思決定を求められても判断ができないため、1度回答を保留して検討を加え、さらに結果としての判断が改めて情報伝達される、というプロセスが何回か繰り返されると考えられる(図-1)。つまり、1)または2)のように、知的な

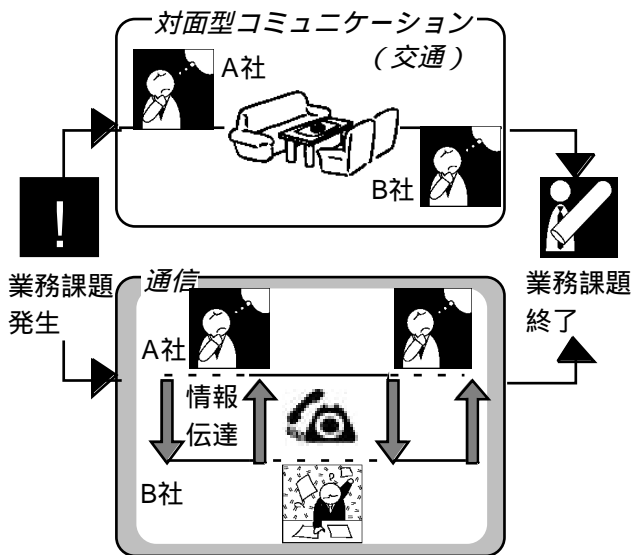


図-1 業務における情報交流

創造や合意形成を目的とした複雑性の高い情報交流を行うためには、複雑性の高さに応じて通信 情報加工 通信...のサイクルがより多く繰り返されることになる。

双方向の通信メディアである電話では、文による定式化に見られるように、1回の通信において、通信時間がある程度長くとることで、判断や意思決定を行うことができる可能性もある。しかし、東京～大阪間のように比較的複雑な情報がやりとりされていると考えられるODペア間の通話時間(2.03分)のほうが全国平均(2.12分)よりも短く、通話時間を長くすることのみで複雑な情報をやり取りしているとは考えにくい(1995年, NTT)。

Daftand Lengelの定義に従うと、不確かな課題は、通話時間を長くにとって多くの情報をやりとりすることで処理できる可能性があるが、業務の初期段階で構想をまとめたり、得られる情報が大変少ない状況下で方針を決定するという課題は、不確かさは低く、複雑さの高い課題である。複雑さ(多義性)の解消を目的とした知的な創造や合意形成では、1回の通信の中で対面型コミュニケーションに相当する「複雑さ」を処理することは難しい。つまり、通信と通信の間の時間において、関連情報を得たり他人と相談して自ら判断したりするといった情報の加工作業を行い、「複雑さ」を処理するため、複数回の通信を繰り返すことになると考えられる。以上の考察をまとめると、ある業務上の課題の解決に必要なやりとりの複雑さ: 複雑性の高さは、その交流を通信に置き換えたときの通信回数に反映される、と演繹できる。

したがって、本研究における「やりとりの複雑さ」は、1回あたりに伝達される情報量が多いことを意味しているのではないことに注意が必要である。情報交流メディアは、ひとつひとつの情報伝達を単位として個別に選択されるのではなく、課題達成に必要な情報交流のまとま

りを単位として選択されることを意味している。

以上の考察から、モデルを定式化する際に用いる、次の3つの仮定を導くことができる。

仮定1: 業務上の情報伝達メディアは、業務上の課題といったある情報交流のまとまりを単位として選択される(以下このまとまりを「課題」と呼ぶ)。

仮定2: 対面型コミュニケーション(交通)では、比較的「複雑な」情報交流を行うことができる。

仮定3: 1回の通信では、比較的「単純な」(複雑性の低い)情報交流しか行うことができないため、複雑な課題の交流を通信で行うためには複数の回数が必要である。

情報交流の通信と交通による分担については、企業のコスト最小化行動に基づくものとする。その際、文の提案した、情報の質が確率密度関数に従って分布するという考え方と同様に、あるODペアで発生する課題の複雑性は均質ではなく、さまざまな複雑性が混在していると考える。その上で、次のような分担構造を考える。

ODペアを与件とすると、そのODペアでの1回あたりの交通価格が通信価格の何倍であるかの価格比: x_0 を求めることができる。この値は、OD間において複数回の通信と1回の交通が価格面で無差別となる値を示している。例えば $x_0 = 100$ であれば、100回の通信価格が1回の交通の価格に等しい。課題の達成に必要な通信回数が x_0 を越える複雑性の高い課題に関する交流は、1回の交通で行ったほうが価格が低い。逆に通信回数が x_0 以下である複雑性の低い課題は、交流全体を通信で行ったほうが価格が低い。すなわち、課題の複雑性の分布を所与とすれば、 x_0 以下の複雑性を持つ課題は通信で、 x_0 以上の複雑性を持つ課題は交通で行われることになる。なお、ここで「価格」とは、各手段の準備に必要な時間や、交通の場合、運行頻度までを含む一般化費用で定義されるべきであるが、データの制約上、以下往復交通費、3分間あたりの通話料金といった交流手段を利用するときの価格を用いる。

3. 情報交流量分担モデル

(1) 情報交流分布モデルの定式化

奥村・端山は、知識や情報の投入を考慮して、企業の都市間の業務交流量の重力モデルを誘導した。説明変数として、都市規模を表す従業員人口や、都市間距離、交通所要時間、交通価格、通信価格等の抵抗要因をとりあげている。さらに、4. (1) で定義する都市集積の高さを表

す中枢性，組織のつながり，地図上の隣接地の影響を示す周辺アクセス変数を加えて，モデルを1990年の都道府県間の業務トリップに当てはめ，良好な結果を得ている¹⁵⁾。

本研究では，2. (3) で述べた情報交流を伴う「課題」が地域間で何回発生するのかを「情報交流量」と考え，これを説明するモデルとして奥村・端山の定式化にない，次の式(1)のように定式化する。

$$I_{ij} = A(N_i N_j)^\alpha d_{ij}^\gamma \exp(\lambda S_{ij}) ttime_{ij}^\psi tcost_{ij}^\nu / ccost_{ij}^\phi Z_{max}^{\mu_1} Z_{min}^{\mu_2} H_{ij}^\tau \quad (1)$$

ただし， i, j は地域のインデックス， I_{ij} ：情報交流量， $N_i N_j$ ：従業人口の積， d_{ij} ：距離， S_{ij} ：組織のつながりを表わす変数（後述）⁶⁾， $ttime_{ij}$ ， $tcost_{ij}$ ， $ccost_{ij}$ ：交通所要時間，交通価格，通信価格（分間）， Z_{max} ， Z_{min} ：両ノードの中枢性（高い方の値と低い方の値，後述⁷⁾）， H_{ij} ：周辺アクセスを表わす変数（後述⁷⁾）， $\alpha, \gamma, \lambda, \psi, \nu, \phi, \mu_1, \mu_2, \tau, A$ ：パラメータ。

なお，本社が支社に対して指示を出すために支社の担当者を集める場合などを考えると，情報の流れる向きと通信やトリップの向きは必ずしも一致しないので，地域間の交流量は予め向きの区別をなくした3角OD表としたうえで，モデルを適用する。

(2) 情報交流メディア分担モデルの定式化

同一のOD内で発生する課題には単純な伝達から問題の解決や合意形成といった複雑なやりとりを必要とするものまでが含まれており，質的にばらばらである。ODごとの課題の複雑性の分布についてア・プリアリな知見は存在しないが，ここでは中程度の複雑性の課題が多く発生していると考え。本研究では，図-2のように単峰性の分布形を持つ形状パラメータ $m = 2$ のワイブル分布を仮定した。なおワイブル分布は，付録に示すような仮定に基づいて理論的に導出することができる。図中の x 軸は課題の複雑性を表す。交通/通信の価格比： x_0 は交通で分担される領域と通信で分担される領域の境界を表す。

課題（仮定1）の複雑性を x とすると， $x \geq x_0$ の場合には価格面で1回の交通が有利となり，この場合は課題は1回の交通で処理される（仮定2）。反対に $x \leq x_0$ の場合には，価格面で複数回の通信が有利となり，そのような課題は複数回の通信で処理される（仮定3）。以上の分担関係を以下のように定式化する。

$$C_{ij} = I_{ij} \int_0^{x_0} x f_{ij}(x) dx + \epsilon_{ij}^c \quad (2)$$

$$T_{ij} = I_{ij} \int_{x_0}^{\infty} f_{ij}(x) dx + \epsilon_{ij}^t \quad (3)$$

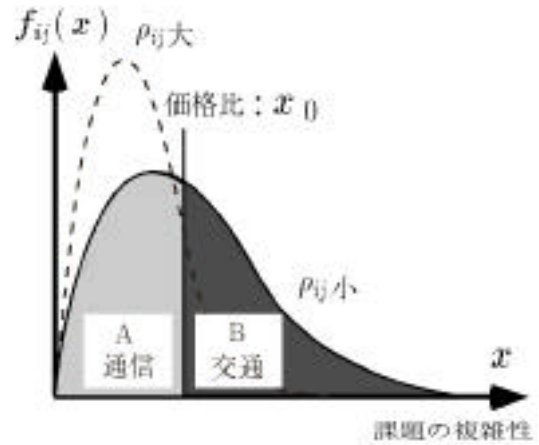


図-2 情報交流手段の分担

$$f_{ij}(x) = \frac{2x}{\rho_{ij}^2} \exp\left(-\left(\frac{x}{\rho_{ij}}\right)^2\right) \quad (4)$$

ただし， i, j は地域のインデックス， C_{ij} ：通信量， T_{ij} ：交通量， x ：課題の複雑性， x_0 ：通信と交通の価格比（ $x_0 = tcost_{ij}/ccost_{ij}$ ）， ρ_{ij} ：課題の複雑性の分布パラメータ， $\epsilon_{ij}^c, \epsilon_{ij}^t$ ：誤差項。

実際に観測される通信回数は式(2)のように，課題の複雑性の密度関数： $f_{ij}(x)$ の1次モーメントを， $0 \rightarrow x_0$ の範囲で積分した値と，情報交流量： I_{ij} の積によって表わされ，図-2のAの領域に相当する。一方，交通の回数（トリップ数）は，式(3)に示すように，図-2のBの領域（ $x_0 \rightarrow \infty$ ）の面積と情報交流量： I_{ij} の積によって表わされる。なお課題の複雑性の分布パラメータ： ρ_{ij} は，ODペアごとに異なると考える。そこで ρ_{ij} に関して式(5)を定義し，説明変数： v_{ijk} に，組織のつながり，周辺アクセス，中枢性を考慮する。

$$\rho_{ij} = \exp\left(\sum_k \theta_k v_{ijk}\right) \quad (5)$$

ただし， θ_k ：パラメータ， v_{ijk} ：説明変数。

以上のモデルにおいて I_{ij} は全ての情報交流を交通で行った場合の回数を表わしており，観測交通量： T_{ij} と観測通信量： C_{ij} の単純な和とはならないため，直接観測されないことに注意する必要がある。

4. モデルの推定結果と考察

(1) データおよび説明変数

業務旅客交通のODは，1995年の「幹線旅客純流動調査」から，都道府県間の業務交通量データを用いる。ただし，都道府県内々の交通量および3大都市圏内部の都道府県間の交通量は，調査対象から除かれている。通信

ODは、NTTの調査から、加入電話のうち事務用回線から発信された、都道府県間の通信回数(1995年)を用いる。交通データの集計単位に合わせて、以下、沖縄県を除く46都道府県を単位として、極端に交通量の少ないODペアを除いた990のODペアに対して分析を行う。

地域の中枢性を表わす変数である Z_{max} , Z_{min} は、知識集約型の生産活動に必要な人的資源、社会資本量、資本市場へのアクセス性、全産業の生産性、消費市場の成熟度といった、地域の労働力や都市機能の質的な違いを反映した変数である。本研究では、奥村・端山⁵⁾によって提案された方法に従い、SPSSのLISREL7を用いて、それぞれ従業人口1人あたりの弁護士数 (y_1)、火災保険契約額 (y_2)、証券店舗数 (y_3)、県内総生産額 (y_4)、大規模店舗数 (y_5) の対数をとった値を観測変数としてパラメータ推定を行い、次式にしたがって1995年の値を算出した(決定係数: 0.885 () 内 t 値)。

$$Z_i = 0.200y_1 + 0.356y_2 + 0.228y_3 + 0.360y_4 + 0.318y_5 \quad (6)$$

(−) (3.22) (2.63) (3.23) (3.10)

さらに企業組織のつながりを表わすため、阿部の企業組織の管轄地区分に関する研究成果¹⁶⁾に基づき、ある都市が他の都市を管轄域として含む場合に両都市間に組織上のつながりがあるとして、その関係をダミー変数(組織上のつながりが存在する場合、 $S_{ij}=1$)を用いて表した。

周辺アクセス: H_{ij} はノード周辺の中枢性の高さを示しており、地図上におけるノードの隣接関係(地図パターン)の影響を表わす¹⁷⁾。これを次式で表す。

$$H_{ij} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i \neq k} \frac{Z_k}{d_{ik}} + \sum_{j \neq k} \frac{Z_k}{d_{jk}} \right) \quad (7)$$

ただし、 d_{kj} : ゾーン kj 間の距離

(2) 推定結果

式(1)~(5)のモデルを、以下分担モデルと呼ぶ。観測変数は、式(2)、(3)左辺の地域 ij 間の通信量: C_{ij} と交通量: T_{ij} であり、両式の右辺に式(1)、式(4)、(5)を代入して2本の方程式を得る。式(2)、(3)は共通の説明変数とパラメータを持つため、両式の誤差項: ϵ_{ij}^c と ϵ_{ij}^t は独立ではなく、かつそれぞれがパラメータに対し非線形である。そこで、 ϵ_{ij}^c と ϵ_{ij}^t 間の相関(方程式間の誤差相関)を考慮した、非線形極限実行可能一般化最小二乗法によってパラメータ推定を行った。この推定法は1)各方程式に独立に非線形最小二乗法を適用してパラメータを推定する、2)推定されたパラメータの下での予測

表-1 地域間情報交流モデルの推定結果

説明変数		推定値	
式(1) : I_{ij}	交通価格 $tcost_{ij}$	-0.522** (7.28)	
	交通時間 $ttime_{ij}$	-0.207** (4.11)	
	中枢性(大) Z_{max}	0.332* (2.43)	
	中枢性(小) Z_{min}	-0.547** (3.70)	
	組織のつながり S_{ij}	1.400** (9.88)	
	距離 d_{ij}	-0.777** (12.94)	
	従業人口積 $N_i N_j$	1.178** (52.08)	
	定数項	2.663* (2.54)	
	式(5) : ρ^2	組織のつながり S_{ij}	-0.408** (7.70)
		周辺アクセス H_{ij}	-0.181** (3.24)
中枢性(大) Z_{max}		0.097 (1.25)	
中枢性(小) Z_{min}		-0.021 (0.22)	
定数項		0.841 (1.86)	
式(2): C_{ij} の予測値 / 実測値間の決定係数		0.886	
式(3): T_{ij} の予測値 / 実測値間の決定係数		0.769	
サンプル数		990	

() 内 | t 値 | , * : 5% 有意 , ** : 1% 有意

値と実測値の誤差をもとに方程式間の誤差共分散行列: $\hat{\Sigma}_{(1)}$ を求める、3) $\hat{\Sigma}_{(1)}$ を次のステップの入力情報として非線形最小二乗法を適用してパラメータを推定する、という手順で、パラメータが収束するまで2)~3)を繰り返す方法である。なおこの方法では、単変量の一般化最小二乗法のように、各方程式内のサンプル間誤差相関を考慮しているわけではない。推定結果を表-1に示す。データとモデルの予測値の間の決定係数は、通信量: C_{ij} 、交通量: T_{ij} とともに高い値を示しており、現況をよく再現している。設定したパラメータの符号に論理矛盾はなく、分布のパラメータ: ρ_{ij} の中枢性以外のパラメータは、有意な t 値が得られた。なお、情報交流量: I_{ij} に対する通信価格のパラメータは符号条件を満足せず、

得られた t 値が低かったためモデルから除外した。

情報交流量 I_{ij} を説明する式(1)のパラメータは、ほぼ全てが 1 %有意となった。2 つの中枢性のパラメータの符号は、両都市の中枢性の開きが大きいほど、多くの情報交流が発生することを示している。交通価格、交通時間、および距離は、負の推定値が得られた。交通にかかる時間と価格の短縮は、情報交流量の誘発をもたらす。 t 値から判断して、交流量の減衰要因としては距離の影響が最も大きく、価格、時間の順で影響する。組織のつながりのパラメータは正の推定値となり、つながりのある地域間では交流量が多くなることを示された。従業員人口積のパラメータは、 t 検定を行ったところ 1 に対して有意に大きい結果が得られた。従業員人口に対して交流量は相乗的に増加することを意味し、規模の経済性が存在することを示唆している。

課題の複雑性の分布 ρ_{ij} を説明する式(5)のパラメータは、中枢性を除いて有意となった。組織のつながりのある OD 間では分布のパラメータが小さくなり、図-2 から判断すると、単純な課題が多いことを示している。周辺アクセスパラメータも負で有意となり、地図パターンの影響があることが確認された。これは、ある OD のノードの周辺に中枢性の高いノードが存在すれば、その OD では単純な課題が多く交流されることを意味する。

(3) 重力モデルとの比較

次に、本モデルのパラメータ推定値の検証のため、地域間交流を表わすモデルとして一般的に用いられる重力モデルを通信量と交通量に直接当てはめて推定を行った(式(8))。

$$interaction_{ij} = A(N_i N_j)^\alpha d_{ij}^\gamma \exp(\lambda S_{ij}) ttime_{ij}^\psi tcost_{ij}^\nu ccost_{ij}^\phi Z_{max}^{\mu_1} Z_{min}^{\mu_2} H_{ij}^\tau \quad (8)$$

$interaction_{ij}$: C_{ij} , または T_{ij} (交通量の実測値),
 $\alpha \ \gamma \ \lambda \ \psi \ \nu \ \phi \ \mu_1 \ \mu_2 \ \tau$: パラメータ

通常最小二乗法による推定結果を表-2 に示す。モデルの決定係数は高い値を示しており、適合度は高い。価格の直接弾力性パラメータは、通信/交通とも負の値となった。交差弾力性は両方の目的変数に対して有意な値が得られたが、交通価格の通信量に対する弾力性は負、通信価格の交通量に対する弾力性は正の値となった。つまり、交通価格の減少は通信量の増加をもたらすが、通信価格の減少は交通量の減少をもたらすという、非対称性が確認された。

交通時間のパラメータは交通量のモデルに対しては符号条件を満たさなかったため削除した。組織のつながりと従業員人口積のパラメータ推定値は、ともに正で有意となった。全体として通信量モデルで有意なパラメータ

表-2 重力モデルの推定結果

説明変数		通信量 C_{ij}	交通量 T_{ij}
交通価格	$tcost_{ij}$	\hat{c} 694** (3.69)	- 0.815** (8.12)
通信価格	$ccost_{ij}$	236* (2.55)	0.396** (3.42)
中枢性(大)	Z_{max}	412** (3.37)	0.212 (1.00)
中枢性(小)	Z_{min}	0.224 (1.31)	0.153 (0.71)
組織のつながり		0.897** (6.34)	1.095** (6.16)
距離		- 0.956** (14.67)	- 0.207* (2.53)
従業員人口積		1.108** (43.80)	1.203** (37.84)
周辺アクセス	H_{ij}	1.134** (10.69)	- 0.067 (0.50)
定数項		5.037** (4.44)	2.693 (1.89)
決定係数		0.903	0.822
修正決定係数		0.902	0.821
サンプル数		990	990

() 内 | t 値 | , * : 5%有意, ** : 1%有意

が多く、交通量モデルでは有意ではないパラメータが多い。周辺アクセスや距離のパラメータは、通信に対してのみ有意となった。

分担モデル(表-1)と、重力モデル(表-2)の推定結果は、全体としては符合する。分担モデルでは、交通価格が下がると、情報交流量 I_{ij} が増加し、価格比 x_0 は小さくなる。したがって交通価格の減少は交通量の増加をもたらす。一方、交通価格の減少が通信量に与える影響の向きには、多様性を認めている。すなわち、交流量の増加と比較して、価格比の変化によって通信が交通に代替される(減少する)量が相対的に少なければ/多ければ、通信量は増加/減少する。さらに重力モデルと異なり、これらの増加率/減少率は、OD ペアごとに異なる。これらは、次のシミュレーションで確認する。両モデルを比較すると、分担モデルのパラメータ推定値はほとんどが 5 %有意であり、現況再現性も重力モデルと同等であることから、提案した情報交流量分担モデルが有効であると判断できる。

(4) シミュレーション

分担モデルを用いて、交流の価格が変化した場合のシミュレーションを行った。ここでは、交通および通信の、

表-3 東京に対する交流価格の変化の影響

順位	交通価格5%低下		通信価格5%低下		
	交通量	通信量	交通量	通信量	
1 熊本県	20.7%	17.3%	新潟県	-3.9%	0.8%
2 長崎県	18.3%	15.1%	静岡県	-3.8%	0.8%
3 鹿児島県	18.2%	15.1%	長野県	-3.7%	0.9%
40 群馬県	12.6%	9.5%	茨城県	-1.7%	1.0%
41 栃木県	12.6%	9.5%	山形県	-1.7%	1.1%
42 茨城県	12.1%	9.0%	福島県	-1.6%	1.1%
全国平均	16.7%	13.4%	全国平均	-2.0%	0.9%

全地域間の価格が一律に5%低下したと仮定して計算を行い、現況の交流量に対する変化率を求めた。推定されたモデルの構造より、通信価格の変化は分担のみに影響するのに対して、交通価格の変化は分担と交流量 I_{ij} に影響する。したがって、交通価格の方が交通量、通信量に与える影響が大きいと予想される。

表-3 に東京とその他の県間の交通量と通信量の変化をとりあげ、変化率の順に並べた結果を示す。交通価格の変化は、熊本や長崎など、主として遠隔地との交流に大きな影響を及ぼす。一方、通信価格の変化によって交通量が影響を大きく受けるのは、新潟や静岡や長野等の関東地方の周辺の諸県であった。また、東京との交流では、交通価格の低下による通信の代替効果よりも情報交流量を誘発する効果が大きく、結果的にどの道府県との間でも通信量は誘発される。

通信価格の低下は交通から通信への代替をもたらすが、その代替率（交通への交差弾力性）が低いのは、北関東や東北地方の南側の諸県であった。これらの地域は東京との距離が近く、5%に相当する価格の変化量の絶対値が小さいこと、東京との中枢性の差がきわめて大きいこと、通信に代替することが難しい交流の占める割合が大きいと考えられる。つまり、これらの地域では東京の中枢機能に依存した業務体制をとっているのではないかと考えられる。

5. おわりに

本研究は、業務における地域間の情報交流を定量的に評価できるモデルの構築を試みた。交通と通信の分担メカニズムに関する考察の結果、対面型コミュニケーション1回は通信1回で代替できず、課題の複雑性に依りて複数回の通信で代替されると仮定して、モデルの定式化を行った。

都道府県間の業務交流量データを用いて実証分析を行ったところ、提案した情報交流量分担モデルは現況の交通量と通信量を良く再現しており、高い適合度を示し

た。モデルパラメータの推定値から、通信価格が低下すると、情報交流全体は誘発されることなく、交通からの代替のみが起こることが示された。また交通価格の低下は、情報交流量の誘発と同時に、通信からの代替をもたらすことが明らかとなった。モデルの妥当性を検証するため、重力モデルの推定値と比較を行った結果、両推定結果は符合し、現況再現性も同等であった。提案した情報交流量分担モデルは OD ごとに異なる情報交流特性を認めており、モデルの有効性が確認されると同時に、本研究で仮定した交通と通信の分担メカニズムの妥当性が間接的に示されたと考えられる。

シミュレーション分析の結果より、交通価格の低下による通信量の変化は、交通への代替による減少よりも誘発による増加が大きいことが示された。つまり交通価格の低下は、交通、通信をともに増加させること、および OD ごとにその効果が異なることが明らかとなった。ただし、ここで行った分析はあくまでも単時点のクロスセクショナルデータのみに基づいた試算であり、本来は多時点データに基づいて、得られた知見の精査を行う必要がある。

今後の課題としては、情報伝達の複雑性の取り扱いを精緻化することが考えられる。本研究は、通信と交通の伝達価格比をもって代替の基準としたが、本来は伝達価格に加えて、伝達の前で行われる情報を加工する作業を含んだ、通信と交通の一般化費用を用いて記述すべきである。この分析には、実際の業務上の案件の処理と情報交流に関する詳細な情報が必要である。また、このモデルを時点の異なるデータに適用した分析も興味深い。この分析からは、業務における情報交流特性の変化の様子を捉えることができる。新しい情報通信機器の普及が、情報交流に及ぼした影響の分析が可能となる。

付録 「課題の複雑性の分布」

ワイブル分布は、以下の前提を置くことによって導かれる。

前提1：2人の交流主体は、ある共通の概念に対して各自のイメージを持っている。

前提2：各々のイメージは、共通概念から一定のずれをもって分布している

前提3：共通概念に対して、意見を合わせて合意するまでのやりとりの回数（課題の複雑性）は、2つの主体のイメージ間の距離に比例する

ここで、もし各主体のイメージが同一の概念を中心に、それぞれ2次元の正規分布にしたがってばらついている

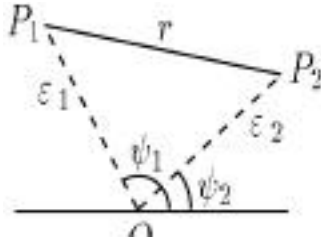


図-3 記号の定義

とすると、2人のイメージ間の距離は、形状パラメータ=2のワイブル分布に従うことを示す¹⁸⁾。

いま共通概念を原点として、主体のイメージ点： $P_i (i = 1, 2)$ と共通概念を結んだ線分： OP_i の長さを ε_i 、 OP_i が、x 軸正方向となす角を ψ_i 、2人の主体間の距離を表わす線分： P_1P_2 の長さを r とする (図-3)。主体のイメージ点： P_i の標準偏差を σ_i とすると、仮定より $P_i (i = 1, 2)$ の位置はそれぞれ独立に原点 O を中心とした 2次元正規分布に従うので、 ε_i, ψ_i は、極座標形式の確率密度関数に従う。

$$f(\varepsilon_i) = \frac{\varepsilon_i}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\varepsilon_i^2}{\sigma_i^2}\right) \quad (9)$$

また、 r の確率密度関数を $f(r)$ とし、原点が P_1 に一致する場合の r の条件付き確率密度関数を $f_{O \rightarrow P_1}(r)$ とすると、式 (9) より、

$$f(r) = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{\varepsilon_1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\varepsilon_1^2}{\sigma_1^2}\right) \right\} f_{O \rightarrow P_1}(r) \varepsilon_1 d\psi_1 d\varepsilon_1 \quad (10)$$

と求められる。腰塚は、原点を中心に利用者の密度が $A \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)$ の形で与えられる場合に、原点からある距離 h の点に設置された施設から利用者までの距離の確率密度関数を、

$$f(r') = \frac{r'}{\sigma^2} I_0\left(\frac{r'h}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{r'^2+h^2}{\sigma^2}\right) \quad (11)$$

と求めた¹⁹⁾。ただし、 I_0 は、0階第1種の変形 Bessel 関数である。

このモデルは、確率密度関数が正規分布に従う場合にも同様に適用できるから、求められた確率密度関数は、本研究の $f_{O \rightarrow P_1}(r)$ に相当する。腰塚による式 (11) において、 h を ε_1 と置換すると

$$f_{O \rightarrow P_1}(r) = \frac{r'}{\sigma^2} I_0\left(\frac{r'\varepsilon_2}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{r'^2+\varepsilon_2^2}{\sigma^2}\right) \quad (12)$$

となる。 a, b を実数とすると、

$$\int_0^\infty \exp(-a^2x^2) x I_0(bx) dx = \frac{1}{2a^2} \exp\left(-\frac{b^2}{4a^2}\right) \quad (13)$$

であるので、式 (10)、(12) から、

$$\begin{aligned} f(r) &= \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{\varepsilon_1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{\varepsilon_1^2}{\sigma_1^2}\right) \right\} \\ &\quad \frac{r'}{\sigma^2} I_0\left(\frac{r'\varepsilon_2}{\sigma^2}\right) \exp\left(-\frac{r'^2+\varepsilon_2^2}{\sigma^2}\right) \varepsilon_1 d\psi_1 d\varepsilon_1 \\ &= \frac{r}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}\right) \end{aligned} \quad (14)$$

を得る。この式は、形状パラメータ： $m = 2$ 、尺度パラメータ： $\eta = \sqrt{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}$ のワイブル分布の確率密度関数と見なすことが出来る。

以上の考察から、各主体のイメージ空間が 2次元で、イメージのばらつきが 2次元正規分布に従うとき、課題の複雑性は $m = 2$ のワイブル分布に従うことが導出された。

参考文献

- 1) 伊藤滋, 光多長温, 日端康雄: ビット産業社会における情報化と都市の将来, 慶応大学出版会, 1999.
- 2) Moore, A. and Jovanis, P.: Modelling Media Choices in Business Organizations: Implications for Analyzing Telecommunication - Transportation Interactions, *Transportation Research A*, Vol.22, No.4, pp.257-273, 1988.
- 3) 田北俊昭, 湯沢昭, 須田照: 企業における業務交通と通信との代替性を考慮した情報メディア選択モデルの開発, 都市計画論文集, Vol.28, pp.403-408, 1993.
- 4) 田北俊昭, 湯沢昭, 須田照: ニューメディアと交通の代替性を考慮した社内および社外情報メディア選択モデル, 土木計画学研究・論文集, No.12, pp.93-99, 1995.
- 5) 馬場健司: 情報インフラ導入がオフィスコミュニケーション行動に及ぼす影響, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.121-126, 1998.
- 6) 馬場健司: 情報通信技術による業務ミーティング行動の補完と代替, 土木計画学研究・講演集 No.22(2), pp.479-482, 1999.
- 7) 土井健司, 高橋一樹, 森本信次: オフィス従業者のコミュニケーション手段選択と手段間の相互作用に関する分析, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.481-487, 1998.
- 8) Mokhtarian, P.L. and Meenakshisundaram, R.: Beyond tele-substitution: disaggregate longitudinal structural equations modeling of communication impacts, *Transportation Research C*, Vol.7, pp.33-52, 1999.
- 9) Salomon, I.: Telecommunications, cities and technological opportunism, *Regional Science*, Vol.30, pp.75-90, 1996.
- 10) Shuler, R.: Transportation and Telecommunications Networks: Planning Urban Infrastructure for the 21st Century, *Urban Studies*, Vol.29, No.2, pp.297-310, 1992.
- 11) 文世一: 情報通信技術の進歩がオフィス企業の交通需要と立地分布および都市の規模に及ぼす影響, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.111-118, 1992.
- 12) 小林潔司, 福山敬, 松島格也: フェイス・ツウ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究, 土木学会論文集, No.590/IV-39, pp.11-22, 1998.
- 13) Daft, R. and Lengel, R.: Organizational Information Requirements, Media Richness and Structural Design, *Management Science*, Vol.32 A, No.32, pp.554-571, 1986.

- 14) Olanian, B. : A model of group satisfaction in computer - mediated communication and face to face meetings , *Behavior and Information Technology* , Vol.15 , No.1 , pp.24-36 , 1996 .
- 15) 奥村誠 , 端山裕章 : 企業の生産活動を考慮した都市間業務旅客流動モデル , *応用地域学研究* 2 , pp.169-178 , 1996 .
- 16) 阿部和俊 : 日本の都市体系研究 , 地人書房 , pp.132-134 , 1992 .
- 17) Fotheringham , A.S. : Modeling hierarchical destination choice , *EnvironmentandPlanningA* , Vol.18 , pp.401-408 , 1986 .
- 18) 寺木彰浩 : 空間情報を重ね合わせたときの建物の同定について , *都市計画論文集* , No.34 , pp.259-264 , 1999 .
- 19) 谷村秀彦 , 梶秀樹 , 池田三郎 , 腰塚武志 : 都市計画数理 , 朝倉書店 , 1986 .

(2000.3.10 受付)

MEDIA SPLIT MODEL CONSIDERING COMMUNICATION COMPLEXITY

Makoto TSUKAI and Makoto OKUMURA

Previous studies regarding splits in communication media suggest that communication complexity considerably affects media splits. In light of minimizing company expenses, we have proposed a media split model for inter-regional business communication. This model lies between one time face-to-face communication and multiple telecommunication. Communication complexity for each OD pair is described by the Weibull distribution function and reflects demographic factors. The media split model demonstrated a better fit for inter-regional trips and telecommunication than the conventional gravity model. Further, simulation analysis established that differences in communication complexity distributions generate differences in elasticity among OD pairs.