

## 《論 説》

## 都市・地域における新たな集積指標

中 村 良 平・長 宗 武 司

## 目 次

1. はじめに
2. 関連性 (Relatedness)
  - 2.1 技術的関連性 (Technological Relatedness)
  - 2.2 共起性 (Co-occurrence)
  - 2.3 近接性 (Proximity)
3. 関連性 (Relatedness) と多様性 (Variety)
4. 地域産業の分岐 (Regional Branching)
5. 入れ子構造 (Nested Structure)
6. 経済複雑性 (Economic Complexity)
  - 6.1 多様性 (Diversity) と遍在性 (Ubiquity)
  - 6.2 経済複雑性指標 (Economic Complexity Index)
7. おわりに

## 1. はじめに

人口減少の時代においても都市経済や地域経済の成長や発展は重要な政策課題である。Jacobs (1969) の考えを咀嚼すると、地域経済もしくは都市経済の成長概念とは、地域資源を如何に効率的に活用して生産性を高めていくことであり、経済発展の概念は地域の進化や創造性の向上であるといえる。ただ、そういった意味からすれば、成長と発展は背反的なものではなく互いに相互関連していると考えられる。

都市の成長や発展の重要な原動力の1つが「集積の経済性」であることは広く認められている。その集積の概念には、「特化 (Specialization)」と「多様性 (Variety)」があり、これらは伝統的な都市経済学では「地域特化の経済」と「都市化の経済」とそれぞれ呼ばれている。前者は同業種の集積による経済的便益の発生であり、後者は異業種の集積による経済的な便益である。

これらを直接的に測る指標として、地域特化については特化係数 (Location Quotients: 立地商, 特化係数) が、また多様性の指標としてはHirschman-Herfindahl指数やエントロピー指数がそれぞれよく使われてきた<sup>1</sup>。ただこれら指数の計算に当たっては、産業分類に対応して計測されることがほとんどであり、近年の産業分類の複雑性や特定の困難性から産業上の分類に基づく指標よりもむしろ都市経済の機能、たとえば本社の業務機能や工場の生産機能などといった機能分類で集積を捉える必要性も指摘されている<sup>2</sup>。

1 前著の中村 (2008) やNakamura (2009) において、地域特化の指標と多様性の指標について詳細に議論を展開した。特化係数と新たに提案した修正特化係数である。修正特化係数は、その後内外において活用されることが多く、国内ではRESASの指標として採用されている。

2 Duranton and Puga (2005) やGervais et al. (2020) などがあるが、いずれも定性的なモデル展開であって、実証分析では職業分類で集積の特徴を測ることが多い。

都市や地域の産業面における「特化 (Specialization)」や「多様性 (Variety)」の指標化の意義は、それらによって実際どちらが都市や地域経済の成長に貢献しているかを実証的に検証できることにある。そういった実証研究はGlaeser et al. (1992) が、マーシャル的な地域特化の経済をMarshall-Arrow-Romer (MAR)型とし、同じ地域特化であるが競争環境にある場合をPorter型、そして多種多様な企業・産業が存在することで知識のスピルオーバーが容易になるという都市化の経済をJacobs型とそれぞれ用語を再定義、そして各指標を構築することで、都市の雇用成長への貢献度を推定した<sup>3</sup>。この論文が契機になって、以降、特化と多様性の地域成長への寄与分析が盛んに行われてきた<sup>4</sup>。

そして、10年以上にわたって続いたこの議論に新たな概念で整理したのがFrenken et al. (2007) である。彼らは、多様性を一括りにせず、産業構成のポートフォリオの考え方を参考にして、産業内における「関連する多様性 (Related Variety)」と産業間における「関連しない多様性 (Unrelated Variety)」という考え方を提示している。彼らは「地域内の知識のスピルオーバーは、主に関連する部門間で発生し、関連しない部門間では限られた範囲でのみ発生する」と予想されることを示唆している。そして、これらが地域経済の雇用成長率や失業率などに与える影響を分析している。この考え方は、その後多くの実証分析を導いた。ここでの多様性の測度には、関連性について構成要素分解ができるという利点も踏まえて情報理論からエントロピー指数を用いている。

ここでいう「関連性 (Relatedness)」とは何を指しての関連性であろうか。「関連性 (Relatedness)」については、Frenken et al. (2007) の論文とは別に、Neffke and Svensson Henning (2008) によって指標の精緻化が進められてきた。基本的な概念は、「技術的な関連性」の概念である。元々はTeece et al. (1994) の論文を代表として、産業組織論の分野において研究対象となってきたのである。Niffke and Henning (2013) は、その後、投入要素ベース (Resource-based) の関連性と産出ベース (Outcome-based) の関連性の測度に関する識別の必要性を述べている。前者は投入産出表における投入要素に関する関連性を意味しており、後者は生産物の製造における技術的関連性に関係している。

Whittle and Kogler (2019) の展望論文によると、関連性 (Relatedness) の測度には階層的関連性 (Hierarchical Relatedness) と共起関連性 (Co-occurrence Relatedness)、そして投入資源関連性 (Resource-based Relatedness) の3つのアプローチがあるとしている。階層的関連性は、産業分類の程度によって、その包含関係から関連性を見るものであり、共起関連性は実際に生産された生産物同士の発生確率から技術的関連性を指数化するものである。都市集積の観点からすれば、技術的に関連する業種は相互に集積する傾向があるということになる。1つの企業もしくは工場単位で製品の多様性を捉える場合は、複数生産の存在、すなわち「範囲の経済」ということになる。

本稿では、中村 (2008) 以降において提案された都市・地域経済における特化と多様性の指標について、その測度の展望と評価をおこなう。

## 2. 関連性 (Relatedness)

集積の経済性を考える上で、「関連性 (Relatedness)」は重要な役割を演じているのであるが、都市経済学の分野では最近まで特に深く分析されることはなかった。むしろ、(進化) 経済地理学の分野で2000年代後半において研究されてきた。

集積の経済の観点からすれば、何らかの関連性のある業種は、コミュニケーションも含めた取引におけ

3 特化と多様性指数に加えて、第3の説明変数として「競争 (Competitiveness)」の指標もしばしば採用されている。

4 De Groot et al. (2016) は、その議論のレビューを行っている。

るコストを削減するべく近接立地（集積）するということになる。商品やサービスの投入であれば産業連関表の投入構造の解析をすることであり、生産技術や知識の面での関連性であれば、そういった面でのスピルオーバーという外部経済効果を享受できることでの近接立地（集積）をするということになる。伝統的な集積の経済の用語で言うと、前者がJacobs型の都市化の経済で、後者がMarshall-Arrow-Romer型の地域特化の経済に対応する。

投入要素面と生産物面という区分けもできるのだが、前者については共通の生産要素といった投入係数の類似性、後者については生産における技術的関連性と位置づけることができよう<sup>5</sup>。

## 2.1 技術的関連性 (Technological Relatedness)

生産物面での技術的関連性を最初に定式化し実証したのはおそらく Teece et al. (1994) であろう<sup>6</sup>。それに続く Piscitello (2000) や Breschi et al. (2003), Bryce and Winter (2009) らによって企業レベルのデータで生產品の技術的関連性が計測されている。ここでは、1つの企業が異なる産業に複数の工場を有する回数をカウントすることで、2つの産業において同一の企業が現れる確率を算出し、確率が高い組み合わせの産業部門同士において技術的関連性があるとしている。

複数の  $I$  個の産業で活動をしている  $K$  個の法人企業から成り立っている。企業  $k$  が産業  $i$  において操業中（アクティブ）なら  $C_{ik} = 1$ 、そうでない場合は  $C_{ik} = 0$  となる。ある産業における一企業の操業を活動と呼ぶ。企業も産業もアクティビティから成り立っている。企業  $k$  のアクティビティの数を  $m_k = \sum_i C_{ik}$  とし、産業  $i$  でアクティブな企業数を  $n_i = \sum_k C_{ik}$  とする。また、産業  $i$  でも産業  $j$  でもアクティブな企業の数  $J_{ij}$  は  $J_{ij} = \sum_k C_{ik} C_{jk}$  となる。

この産業  $i$  と  $j$  の同時出現数を用いて関連性の尺度を構築できる。その1つは  $p(j|i) = J_{ij} / n_j$  である。これはある企業が産業  $i$  で操業している場合に、その企業が産業  $j$  でも操業しているという条件付き確率である。ただし、一般に  $n_i \neq n_j$  であるため  $p(j|i) \neq p(i|j)$  である。

しかしながら、この係数を持って関連性の測度とすることは短絡的である。それは、 $J_{ij}$  は  $i$  と  $j$  の関連性が高いと大きくなるが、 $n_i$  と  $n_j$  が増加することも予想される。したがって  $n_i$  と  $n_j$  が大きければ、たとえ関連性がほとんどなくても両方の産業でかなりの数の企業が活動していると予想される。逆に  $n_i$  や  $n_j$  が小さければ、大きな相乗効果があっても高い関連性は期待できない。したがって、関連性に関する  $J_{ij}$  の情報は、特定の  $n_i$  や  $n_j$  および  $K$  に対して関連性がない場合、つまり産業がランダムに企業に割り当てられた場合に観察されるつながりの数と比較することによって把握できるのである。

帰無仮説を検証するためには  $J_{ij}$  の確率分布を導く必要がある。いま  $n_i$  と  $n_j$  が固定されていると仮定する。複数産業に帰属する  $K$  個の企業（母集団）にある  $i$  産業で操業する  $n_i$  個の企業からランダムに  $x$  を抽出する場合の数は  ${}_{n_i}C_x$  であり、 $i$  産業では操業していない  $K - n_i$  個の企業から  $j$  産業で操業する企業数  $n_j$  から抽出された  $x$  を除く  $n_j - x$  を抽出する場合の数は  ${}_{K-n_i}C_{n_j-x}$  である。したがって、産業  $i$  と産業  $j$  の両方で操業（活動）している企業の数  $X_{ij}$  は超幾何分布を持つ確率変数

$$p(X_{ij} = x) = \frac{\binom{n_i}{x} \binom{K-n_i}{n_j-x}}{\binom{K}{n_j}}$$

となり、 $X_{ij}$  の平均値は

5 この概念については、Whittle and Kogler (2019) において展望がなされている。

6 Teece et al. (1994) では一部定式化の誤りと証明が不十分なところもあったが、それらは後続の論文で直されている。

$$\mu_{ij} = E(X_{ij}) = \frac{n_i n_j}{K}$$

で、 $X_{ij}$ の分散は

$$\sigma_{ij}^2 = \mu_{ij} \left(1 - \frac{n_i}{K}\right) \left(\frac{K - n_j}{K - 1}\right)$$

となる。

$J_{ij}$ と確率変数 $X_{ij}$ の期待値 $\mu_{ij} = E(X_{ij})$ の差がプラスで大きい時、このペアな産業の組み合わせを持っている（複数生産の）企業はシステムティックな多様性を示している。

しかしながら、関連性以外の要素も共起回数を決定しているかも知れない。たとえば、産業規模がとても大きい場合などがそうである。他の影響要素の取り除き方については次節で述べるNeffke and Svensson Henning (2008) が回帰分析を用いた改善方法を提案している。

## 2.2 共起性 (Co-occurrence)

共起性の分析とは、2つの産業の範疇に属する生産物が1つの経済主体に見られることが多いかどうかを評価することにより、2つの産業間の関連性を測定しようとする考え方である。Hidalgo et al. (2007) では、同じ国（経済主体）で2つの産業が顕示された比較優位（共起）を持つ回数を数えている。前節で述べた Teece et al. (1994) や Bryce and Winter (2009) は、複数生産をする1企業（経済主体）の生産物がどのような産業に属しているかの頻度（共起）を数えている。

しかし、関連性以外の要因が共起の数を決定する可能性が残されている。たとえば、産業が非常に大きい場合、それらは多くの企業で見られる可能性が高いため、他の産業とより頻繁に共存することになる。そこで2つの産業間に共起の数が、ある場合で過度であるかどうかを判断するために、共起が期待される基準値（expected baseline）と比較することにする。この期待基準値に対して2つの産業が同時に生起する頻度が高いほど関連性の測度も高くなるのである。

Neffke and Svensson Henning (2008) は上記の点を考慮した「零数過大型負の二項回帰モデル (zero-inflated negative binominal regression procedure: ZINB)」を用いて、「Revealed Relatedness (顕示された関連性)、以下ではRRと記す」と定義する共起ベースの尺度から関連性を推定している。ここでの産業関連性は、製造工場のポートフォリオにおける異なる産業に属する製品の共起から導き出される。RR指数は、産業間における範囲の経済の明示的な存在を測定している。ただし、ここで使用するRR指数はTeece et al. (1994) や Bryce and Winter (2009) らのような企業のポートフォリオからではなく、一工場における製品ポートフォリオから導かれたものである。工場レベルで重要な一連の範囲の経済は、企業レベルで重要な一連の範囲の経済よりも制限されているため、企業レベルと工場レベルの違いは非常に重要である。2つの産業の製品が1つの同じ工場で生産されることが多い場合、これらの産業の生産プロセスが相互に範囲の経済を生み出すため、これが発生する可能性があります。たとえば、両方の業界で同じ機械が使用されている場合や、両方の業界で同様のスキルを持つ従業員が必要な場合がある。対照的に、2つの産業間の範囲の経済が存在しない場合、企業が1つの工場で異なる生産プロセスを組み合わせる可能性は低くなる。事例として、スポーツウェア会社のナイキは、その強力なブランド名を使用してスポーツウェアからスポーツウォッチへと多様化している。時計製造とスポーツアパレル製造は、技術的な意味で無関係であることは間違いありません。しかしながら、ナイキのシャツと時計がまた同じ工場で生産されている可能性も低い。したがって、Neffke and Svensson Henning指数における工場レベルの関連性の推定値は、産業間の技術的関連

性の程度を独占的に反映する。

顕示された関連性 (RR) 指数の構築には、3つのステップを経る。最初のステップでは、2つの産業 ( $i, j$ ) の組み合わせごとに産業間の共起の数が決定される。これを  $L_{ij}$  によって共起の数とする。しかし、上に述べたように、共起の数は産業間の技術的関連性だけに依存するわけではない。たとえば、企業は収益性の低い産業よりも収益性の高い産業をポートフォリオに追加する可能性が高い。他の産業との関連性に関係なく、共起で大きな産業に遭遇する確率は小さな産業に遭遇する確率よりも大きいのである。

2番目のステップでは、そのような産業レベルの特性のみに基づいて予想される組み合わせ ( $i, j$ ) の共起の数を決定することにより、技術的関連性以外の効果を制御する。両方の産業における全体的な収益性、雇用、稼働中の工場の数に対して観察された共起数  $L_{ij}$  を回帰する。推定されたパラメータを使用して、産業 ( $i, j$ ) の組み合わせごとに共起数の予測  $\hat{L}_{ij}$  を計算することができる。たとえば、Neffke and Svensson Henning (2008) のスエーデンのデータでは、収益性、従業員数、および両方の産業の工場数に回帰した382,200 (農業機械器具製造業) と384,320 (自動車エンジン、部品製造業) の間の予測された共起のベースラインの数は4.99であった。次に、この予測を観察された共起の数 (上記の例では36) と比較します。この場合、観察された共起の数は予想を7.21倍上回っている。これは相互に強く関連し合っていることを示している。

3番目のステップでは、この係数に定数を掛けて、すべての組み合わせが0から1の間にあるインデックスを求める<sup>7</sup>。RRの基準推定値は、次のように示すことができる。

$$RR_{ij} = k \frac{L_{ij}}{\hat{L}_{ij}}$$

ここで、 $k$  は正規化係数である。1980年の場合、この定数は1/11.97に等しくなる。したがって、農業用機械器具製造業と自動車エンジン、部品製造業との間の関連性は0.59となる。

ほとんどの産業の組み合わせでは、この手順で正確な関連性測定値を作成できる。ただし、一部の部門は規模が非常に小さいことから共起が1つ異なるとRRの推定値が劇的に変化することがある。これらのケースでは、関連性推定の全体的なマトリックスに見られる追加の間接的な情報が使用される。

### 2.3 近接性 (Proximity)

Neffkeらの共起性とは異なる「関連性」のもう1つの測度は、Hidalgo et al. (2007) によって提案された近接性指標 (Proximity Index) である。Hidalgo et al. (2007) は、一国の経済発展において輸出 (品目の種類) の重要性に着目し、如何にして輸出品目を開発していくかを考察した。それは、生産活動においてDavid Ricardoの比較生産費説に依拠した比較優位な製品と生産技術的に近い、つまり関連性のある製品に特化することで輸出品目を増やし、その結果として経済発展をすることができるということである。

一次製品の加工物を主たる輸出品している国が、さらに外貨を獲得するために輸出品を考える場合、製造技術の全く異なるものを製造開発するよりも今ある食料品加工の技術と関連する技術を発展させた製造品を輸出することの方が選択として望ましいであろう。Hidalgoらの提示した関連性は、製造技術の近接性を指標化したものといえる。

彼らの関心は一国の輸出品目であったので、その国の生産技術の優位性をBalassa (1965) によって交易

7 正規化の手順によって指数が実質的に変更されることはなく、指数が測定される単位が再定義されるだけである。インデックスを正規化する理由は、間接的な情報を使用して関連性の推定の質を高めることができるようにするために、関連性の値を区間 [0, 1] に制限する必要があるから。詳細は Neffke and Svensson Henning (2008) に述べられている。

に関して計算される特化係数を援用する。いま  $x_{i,r}$  を地域  $r$  における製品目  $i$  の輸出額とすると、Balassa の特化係数は

$$RCA_{i,r} = \frac{x_{i,r}}{\sum_i x_{i,r}} / \frac{\sum_c x_{i,r}}{\sum_{i,r} x_{i,r}} \quad (1)$$

と表せる。(1)式の値が1.0を上回っていれば、当該国においてその輸出品の製造技術に比較優位性が顕示されていると考える。つまり、 $RCA_{i,r} > 1$  の場合「顕示された比較優位性 (Revealed Comparative Advantage)」があるとする。ここで、 $RCA_{i,r} > 1$  であれば  $z_{i,r} = 1$ 、そうでない場合は  $z_{i,r} = 0$  となるダミー型の変数を定義する。そして、 $p(z_i | z_j)$  を、地域  $r$  が製品  $j$  に比較優位を持っているという条件で、製品  $i$  に対しても  $RCA_{i,r} > 1$  であるという「条件付き確率」として定義する。その確率が大きいことが、2つの製品の生産技術の近接性が高いことを意味する。ただ、 $p(z_i | z_j)$  と  $p(z_j | z_i)$  は等しいとは限らない。確率の非対称性について、Hidalgo et al. (2007) では以下のように述べている。

オーストラリアが世界で唯一ダチョウを輸出している国だとする。鉱物やワインなど、オーストラリアが輸出する他のすべての商品は、ダチョウの肉に非常に近いように見えるが、実際にはまったく異なっている可能性がある。オーストラリアでは、ダチョウの肉を輸出する場合、金属鉱石を輸出する確率は大きいかもしれない。しかし、一般に金属鉱石を輸出する場合、ダチョウの肉を輸出する確率は非常に低いであろう。チリ、ペルー、ザンビアはダチョウの肉を輸出していないが、金属は輸出している。必要な要素に関して製品が本当に近い場合、金属鉱石を輸出するすべての国はダチョウの肉も輸出するであろう。そうではなく、ここでの測定はそれを捉えている。

こういった理由によって、製品  $i$  と製品  $j$  の間の近接性を、組み合わせの小さい方の確率値を採用する

$$\varphi_{ij} = \min \{ p(z_{i,r} | z_{j,r}), p(z_{j,r} | z_{i,r}) \} \quad (2)$$

と規定している。

例えば、以下の表-1のようなケースを想定する。A～Dは製造品目で、1～7は地域である。○印のあるのは特化係数が1.0を上回っている顕示比較優位な部門である。

表-2は、製造品目A～Dの全ての組み合わせについて、出現確率を求めたものである。ここから、最も近接性のあるのはAとDとなることがわかる。これは、表-1を眺めても直感的に理解できる。

表-1 顕示比較優位の表

	A	B	C	D
1	○		○	○
2		○	○	
3	○	○		○
4			○	○
5	○		○	
6		○		
7	○		○	○

表-2 ペアワイズな確率の組み合わせ

Pairwiseな組み合わせ		小さい値	近接性
A・B	$p(z_B z_A)=1/4$	$p(z_A z_B)=1/3$	Min⇒ $\varphi_{AB}=1/3$
A・C	$p(z_C z_A)=3/4$	$p(z_A z_C)=3/5$	Min⇒ $\varphi_{AC}=3/5$
A・D	$p(z_D z_A)=3/4$	$p(z_A z_D)=3/4$	Min⇒ $\varphi_{AD}=3/4$
B・C	$p(z_C z_B)=1/3$	$p(z_B z_C)=1/5$	Min⇒ $\varphi_{BC}=1/3$
B・D	$p(z_D z_B)=1/3$	$p(z_B z_D)=1/4$	Min⇒ $\varphi_{BD}=1/4$
C・D	$p(z_D z_C)=3/5$	$p(z_C z_D)=3/4$	Min⇒ $\varphi_{CD}=3/5$

この近接性指標に関連して、中心性（Centrality）と密度（Density）の指標も提案している。製造品目  $i$  にとって他の産業との技術的近接性の合計を求めることは、この数値が大きいと他とのつながりが大きいことを意味し、それは取りも直さず当該製造品目の「中心性」を物語っている。その中心性の指標は、製造品目数（ $J$ ）で調整することで、

$$c_{i,r} = \frac{\sum_k \varphi_{i,k,r}}{J} \quad (3)$$

のように表せる。

地域・国は一般にいまの生産構造と近い財の生産製品に多様化する傾向にあると言われる。これを検証するために、潜在的な新製品がいまの生産構造といかに近いかを図る「密度指標」というのを提案している。それは、「ある地域・国が生産している比較優位性を持っている製品の多くが、未開発の製品の製造技術に近いならば、その地域の（製造品目）密度は高くなるであろう。そして将来にその製品における比較優位性を得る確率も高いであろう」ということである。

製造品目  $i$  について、近接性の評価となる製造品目の顕示比較優位（ $z_{k,r} : RCA_{k,r} > 1$ ）であるものについてのみ合算し、製品  $i$  についての集計された近接性に対する割合として

$$d_{i,r} = \frac{\sum_k (\varphi_{i,k,r} \cdot z_{k,r})}{\sum_k \varphi_{i,k,r}} \quad (4)$$

を（製造品目）密度指標とする。地域  $r$  にとって顕示された比較優位な産業についての他産業との近接性の程度が、産業  $i$  と関係する他産業との近接性の合計値に占める割合である。

### 3. 関連性（Relatedness）と多様性（Variety）

関連性のある部門や業種に地域経済が多様化するということはしばしば言われる。これは後節で述べる「地域産業の分化（Regional Branching out）」とも関係する。その多様化については、長らくJacobs型の都市化の経済の特徴として捉えられてきた。

しかしながら、この10年間、特に進化経済地理学の分野において、地域内の部門間の技術的関連性に着目した上での新たな多様性概念である「関連する多様性Related Variety」を定量分析した研究が欧州を中心に精力的に行われてきている<sup>8</sup>。そのきっかけとなったのがFrenken et al. (2007) による論文である。ここでは、地域産業の多様性を必要とされる技術や知識がある程度類似した産業が多数存在する「関連する

8 例えば、Boschma, et al. (2012)。また展望論文としては、Content and Franken (2016) が多くの実証分析のサーベイを行っている。

多様性」(Related Variety)と、多様な産業が立地していてもそれら同士の技術的関連性が低い「関連しない多様性」(Unrelated Variety)とを分けて考える必要性を主張している。そして、従来の研究では「関連しない多様性 (Unrelated Variety)」のみで多様性を計測していたために、関連する多様性の重要な効果が無視されてきた。また、従来の研究で取り上げられていたポートフォリオ戦略の観点からは、関連のない産業へのリスク分散が望ましいといえるが、関連部門間での多様性が高まることにより得られる利益も考慮する必要は十分にあると述べている。企業レベルの規模の経済と同様に、地域内の知識のスピルオーバーは主に関連部門間で起こり、非関連部門間では限られた範囲でしか起こらないと考えられ、関連部門の分散とは違った効果が得られると予想されるからである。関連する多様性の高さは知識のスピルオーバーやイノベーションの源泉となり、関連しない多様性は不況などの外的ショックのリスク軽減に役立つのではないかと等といった仮説の下で、それぞれの多様性が地域にもたらす効果への検討が行われている。

多様性の評価は、その測度によってかなり敏感に変化するが、「関連性 (Relatedness)」との関係で通常用いられる測度にShannonの情報エントロピー指数がある。Frankenらの論文とそれに続く論文では、多様化の指数について、すべて情報エントロピー指数を採用している。

Shannonの情報エントロピーのモデルでは、ある事柄  $X$  が発生する確率を  $p(X)$  としたとき、これが与える情報量  $I(X)$  を

$$I(X) = \log_2 \frac{1}{p(X)} = -\log_2 p(X) \text{ ビット} \quad (5)^9$$

と表現する。(5)式の値を、正確には自己情報量と定義する。たとえば、確率  $1/16$  の場合だと情報量は4ビットであり、確率  $1/8$  の場合の情報量は3ビット、また確率  $1/4$  だと情報量は2ビット、そして確率  $1/2$  と高くなると情報量は1ビットと低くなる。

これからわかるように、発生確率が低い(高い)事象についての自己情報量が大きく(小さく)なる。発生確率が低いほど自己情報量が大きくなるので、驚き度や希少度を表す指標として用いられる。発生確率が高い場合は、情報量が少ないのでビットは小さい値となる。

これを産業立地に応用する。ある産業分類における業種  $i$  の事業所の割合を  $p(i)$  とすると、これは業種の存在確率を表している。 $p(i)$  が小さいと立地確率が低いことになり、これは珍しいことが生じている証しであると考えられる。改めて、Shannon情報量  $I(i)$  の定義は

$$I(i) = \log_2 \frac{1}{p(i)} = -\log_2 p(i) \quad (5)'$$

である。立地確率の低い業種が立地しているとビット数は高くなる。これは「珍しい業種が立地していることを知る」ということは情報の価値があることを意味する。そこで、それぞれの業種  $i$  の立地情報量に立地確率を掛けると情報量の期待値(平均値)となる。

立地確率  $p(i)$  が低い業種、この地域にはあまり立地していない業種は、Shannon情報量  $I(i)$  が大きくなる。

産業分類の数が  $N$  とすると、Shannon Indexは

9 対数の底を2にとった場合、情報量の単位はビット、底を10にとればデジット、自然対数の底  $e (=2.71828\dots)$  であればナットという。

$$H(I) = \sum_{i=1}^N p(i) \log_2 \frac{1}{p(i)} = -\sum_{i=1}^N p(i) \log_2 p(i) \quad (6)$$

となる。Shannon Index  $H(I)$  が大きいと、それぞれの産業において情報量が高く、そういった産業が多く存在するということになる。つまり、ある地域に多様な産業が立地しているほど Shannon Index は高くなる。

Frenkenら以降の実証分析での「関連しない多様性」と「関連する多様性」の関係は、産業分類（あるいは職業分類）において、「関連する多様性」が「関連しない多様性」の部分集合になっている。我が国での標準産業分類では、大分類（1桁）、中分類（2桁）、小分類（3桁）、詳細分類（4桁）、そして品目分類（6桁）からなっている。したがって、大分類の産業を相互に関連しない部門として位置づけると、各大分類の産業に属する中分類の各産業は相互に関連する部門ということになる。あるいは、「関連しない多様性」の部門を中分類までとれば、そこに属する小分類、もしくは詳細分類の業種は大意に関連する部門ということになる。これらは結構恣意的ではある。

Frenkenらが多様性の測度でエントロピー指数を採用する最大の理由は、指数の構成分解ができることにある<sup>10</sup>。以下、地域の雇用者数を変数として、その流れを具体的に説明する。

まず、 $E_{ij}$  を地域  $j$  における産業  $i$  の雇用者数とし、添え字の \* は合計値を意味する。雇用者数で測った地域  $j$  におけるエントロピー（多様性）指数は、

$$(\text{Entropy Index})_j = -\sum_{i=1}^N \frac{E_{ij}}{E_{*j}} \log_2 \frac{E_{ij}}{E_{*j}} = -\sum_{i=1}^N p_j(i) \log_2 p_j(i) \quad (7)$$

となる。ただし、 $E_{ij}/E_{*j}$  は地域  $j$  における産業  $i$  の雇用者の割合で  $p_j(i) = E_{ij}/E_{*j}$  である。

仮に、地域  $j$  において各産業 ( $i=1, 2, \dots, N$ ) の雇用者が均等に分布しているとする、 $E_{ij} = \frac{1}{N} E_{*j}$  より、 $(\text{Entropy Index})_j = \log_2 N$  となる。これは、すべての産業部門が地域の雇用に等しく貢献しているという意味において、地域は完全に多様化していると考えるのである。反対に、ある産業だけに特化しているという極端な場合であれば、明らかに  $(\text{Entropy Index})_j = 0$  となる。このことから、エントロピー指数は  $0 \leq (\text{Entropy Index})_j \leq \log_2 N$  という範囲になる。 $[0, 1]$  で基準化するには  $\text{Entropy Index}$  を  $\log_2 N$  で割っておくことが必要である。

このエントロピー指数の特徴として、Gini係数と同様に要因分解できることがある。たとえば、詳細分類では  $[i=1, \dots, N]$  と  $N$  種類あるが、産業中分類では  $[k=1, \dots, K]$  ,  $K < N$  と  $K$  種類に集計できるとしよう。ここで、詳細分類で測ったエントロピー指数は、

$$(\text{Entropy Index})_j = -\sum_{i=1}^N \frac{E_{i,j}}{E_{*j}} \log_2 \frac{E_{i,j}}{E_{*j}} \quad (8)$$

と表せる。また産業中分類で計測した地域  $j$  におけるエントロピー指数は、

$$(\text{Entropy Index})_{\text{between } k} = -\sum_{k=1}^K \frac{E_{k,j}}{E_{*j}} \log_2 \frac{E_{k,j}}{E_{*j}} \quad (9)$$

となる。ただし、 $E_{k,j} = \sum_{i \in k} E_{i,j}$  (中分類  $k$  の中の詳細分類  $j$  の合計、例えば中分類の食料品製造業の従業者数など) である。

他方で、1つの産業中分類  $k$  の中のエントロピー指数は、

10 これは同様に、情報理論を用いたTheil (1972) の不平等指数の構成分解と全く同じである。

$$(Entropy\ Index)_{within\ k} = -\sum_{i \in k} \frac{E_{i \in k, j}}{E_{k, j}} \log_2 \frac{E_{i \in k, j}}{E_{k, j}} \quad (10)$$

である。たとえば、中分類「飲料製造業」の中の詳細分類（お茶、清涼飲料水、蒸留酒、ビール、日本酒など）で測ったエントロピー指数である。(10)式に各中分類の従業者シェアをウエイトとして、加重平均を求めると、

$$(Entropy\ Index)_{sum\ of\ within\ k} = \sum_{k=1}^K \frac{E_{k, j}}{E_{*, j}} \left( -\sum_{i \in k} \frac{E_{i \in k, j}}{E_{k, j}} \log_2 \frac{E_{i \in k, j}}{E_{k, j}} \right) \quad (11)$$

これは各中分類のエントロピー指数の加重平均値であり、平均多様性ともいえよう。(9)式と(11)式を加えて、

$$\begin{aligned} (Entropy\ Index)_j &= (Entropy\ Index)_{between\ k} + (Entropy\ Index)_{sum\ of\ within\ k} \\ &= (Entropy\ Index)_{between\ k} + \sum_{k=1}^K \frac{E_{k, j}}{E_{*, j}} (Entropy\ Index)_{within\ k} \end{aligned} \quad (12)$$

となる。(12)式の意味は、

$$\begin{aligned} &(\text{詳細分類でみた地域全体での産業多様性}) \\ &= (\text{中分類間での多様性}) + (\text{中分類のウエイト}) \times (\text{各中分類の中での詳細分類での多様性}) \\ &= (\text{関連しない多様性}) + (\text{ウエイト}) \times (\text{関連する多様性}) \\ &= (\text{Unrelated Variety}) + (\text{Weight}) \times (\text{Related Variety}) \end{aligned}$$

となる。

ここで、産業中分類の産業同士を相互に関連しない同士と考えると、中分類でのエントロピー指数は「関連しない多様性」を表している。また、各中分類における詳細分類同士は関連する部門であるととらえると、そこで測ったエントロピー指数は「関連する多様性」の程度を表していると考えられる。

こういった多様性指数が特化係数と並んで、地域経済の雇用や所得の変化にどのように関わっているかを、クロスセクションや時系列データでの回帰分析を行うことによって、集積の経済効果が間接的に推定できるのである。

標準産業分類での階層ベースの関連性を使用する利点は、実証分析が比較的容易にできることであるが、かなり恣意性が存在する。そこでの本質は、どういった関連性かということである。製造品の技術に関する関連性 (Technological Relatedness) であれば、2節で述べた指標を用いることができる。産業分類上の関連性も、ある意味そういった生産技術的側面がある。しかしながら、2つの産業が共通の2桁または3桁の分類を共有しているという理由だけで、自動的にそれらが関連していることを意味するものではない。また、それらが資源を共有していることを意味するものでもないの、そう仮定する根拠はかなり弱い。さらなる批判としては、このタイプの関連性は、生産において同じような投入構造を有するといった垂直方向での関連性を測定する場合に困難であるということである<sup>11</sup>。

11 Fan and Lang (2000) は、全国レベルではあるが産業連関表の投入・産出のデータを用いて、投入要素での関連性と販売面での関連性の2つの指標で評価していて、それらが標準産業分類による指標よりも優れていると述べている。

#### 4. 地域産業の分岐 (Regional Branching)

Boschma and Frenken (2011) は、新たな多様性 (産業) が当該地域における技術的に関連した産業から生まれるプロセスを「地域産業の分岐 (Regional Branching)」と名付け、その仮説の検証を試みた。そこでは、「技術的関連性が地域経済の多様化プロセスで重要な役割を果たし、重要な経路依存性を生み出す可能性が高い」ということを考察する。つまり、地域が「単純に何らかの新しい産業に多様化するのではなく、技術的に関連する産業に枝分かれする (Branching out)」ということの検証である。

この地域経済の分岐プロセスが発生する理由としては、新しい産業がさまざまな知識移転メカニズムを通じて既存の産業につながるからであり、これが新産業の出現と成長をサポートする可能性がある。これらのメカニズムには、(1) 企業の多様化、(2) スピンオフの形での起業、(3) 労働移動、(4) ソーシャルネットワークワーキングなどがある。これらのメカニズムは主に地域内レベルで機能するため、この分岐プロセスは地域的な現象となる。

以上のBoschma and Frenken (2011) による地域産業の分岐プロセスは、一企業あるいは一工場においての複数生産の効率性、つまり範囲の経済性と近い概念を意味している。企業がBranching outした結果、地域としての多様性が増す。それは、多品目生産の事業所が多いほど地域全体として多様化していることになるわけで、これは地域としての自己組織化的な多様化ではない。製造業よりむしろ情報サービス業などの分野では、都市における製品の多様化ではなくサービス産業の多様化を検証することの方が時代に合っているとさえ言う。

こういった地域産業の分化による多様化の進展については、短期ではなく中長期的にとらえる必要がある。また、地域の産業構造が多様化したといっても、誘致企業 (工場) がはたして地域の企業との技術的関連性で立地するとは限らない。誘致による立地企業は、技術的関連性よりも、制度面での優遇税制、原材料の調達可能性、容易性が、交通アクセス、市場への近接性を通常は重視する。もちろん、地域に母工場があってその大手企業の下請けが立地するというのも多様化の一種である。そうであれば、そういった地域に固有の立地要素に関連する産業関連性が生まれる。

地域がどのように多様化していくかを、関連性の指標などを使って時系列データから検証することは意義のあることである。

#### 5. 入れ子構造 (Nested Structure)

集積をとらえる場合、産業に焦点を当てるとそれは地域間の立地分布である。また、地域 (都市) に焦点を当てれば、その地域における産業の相対的な集積度である。これをクロスオーバーすることは可能であろうか。

生物生態学の分野では、「虫は花の蜜を吸うが、花は虫に花粉を運んでもらえる」という「相利共生 (Mutualism)」がある。虫と花の関係はランダムではなく「入れ子構造 (Nestedness)」になっていることが2009年にわかった。これが、種の多様性と消滅の問題を解く鍵になった。都市の多様性と立地産業の遍在性の関係に照応できる。

虫には全ての花の花粉を運ぶ「何でも屋 (Generalist)」と限られた花の花粉しか運ばない「偏向屋 (Specialist)」が存在する。

重要なことは、「偏向屋が運ぶ花粉の種類は、何でも屋が運ぶ花粉の種類の部分集合になっている」という点である。花の立場からすれば、どんな虫にも花粉を運んでもらえるGeneralな花と、特定の虫にし

か花粉を運んでももらえないSpecialな花があるということである。特定の（Specialな）花の花粉を運べるのは、その花に特化した虫ではなく、他の花粉も何でも運ぶ何でも屋（Generalist）の虫なのである。つまり、Specialistのもつ能力はGeneralistのもつ能力の一部ということになる<sup>12</sup>。

花を地域で例えると、地域には特定の分野の産業（虫）が立地している特化した（Specialized）地域があれば、様々な産業が立地する多様性のある（Diversified）地域もあるということになる。Diversified地域では、特定の地域にしか立地していない産業も立地しているというGeneralな特性を有しているのである（図-1）。

製造業についていうと、多様な製品を製造できる国はGeneralであり、少数の種類の財しか製造できない国はそれに特化したSpecialized国である。このとき、一般的には多様な財を生産できる国は技術水準も高いが、特定の財しか生産できない国の技術水準は低いことが国際的な分業を見るとわかる。そして、そのような財の生産場所は地理的に遍在性が高いのである。これは、SpecialがGeneralに組み込まれているという「入れ子構造（Nested Structure）」となっていることを示唆している。これは国家レベルでは検証できるが、一国の地域単位では、天然の立地条件に差はあっても技術水準に違いがなければ検証は難しい。むしろ、サービス業についての方が検証できるかもしれない。これは都市階層構造の理論と関係する。

図-1では、都市階層構造を念頭に立地の可能性を記したものである。消費の多様性で見ると明らかに都市規模の大きい都市の方の多様性が大きい。豊富な財やサービスを提供できるGeneralistと言える。横方向は立地分布の遍在性である。一般に大規模店舗の方が立地に偏りがある。これらのことから、Generalistである大都市の多様性に、中小規模の都市のSpecialistが組み込まれているという「入れ子構造」になっていることがわかる。

このような入れ子構造（Nestedness）の程度を指数化することは容易ではないが、Mariani et al. (2019) のレビューによると、入れ子構造に深くコミットしている主体であれば、上位のGeneralistの盛衰にSpecialistの依存度が高くなることを示唆している。

図-1 都市と業種の入れ子構造



12 鬼頭 (p.73, 2019) を参照。

## 6. 経済複雑性 (Economic Complexity)

前節の入れ子構造に見られるように、国や地域の経済状況を多面的に捉えるにはこれまで一般的に用いられてきたGDP(国内総生産)では不十分であり、近年ではHidalgoらが提唱した「経済複雑性指標 (Economic Complexity Index)」が着目されている<sup>13</sup>。この指標は地域における産業の集積度や多様性に加え、産業の地域ごとの遍在性をもとに地域の複雑性を捉えたものである。

Hidalgo (2021)によると、経済の複雑系のモデルでは、地域特化のパターンに焦点を当てた「関連性」の研究と、「経済的複雑性の指標」に関する研究に大別することができる。前者の関連性は経済活動と活動場所との全体的な親和性を測定するもので、後者は次元削減技術を適用し、複雑性の測定基準に焦点を当てている。これらの複雑性手法は、GDPでは捉えられない詳細な経済構造の特徴を明らかにし、産業政策への定量的な示唆をしている。ただし、経済的複雑性に関する文献はまだ初期段階であると言える。

経済的複雑性は、機械学習やネットワーク分析といった分析手法の発展やよりきめ細かいデータが入手可能となったことを受けて、国や地域の経済発展を予測し、説明することが可能となった。特に、ネットワーク分析の導入は、関連性の研究を発展させた。

この節では、Hidalgoらが提唱した経済複雑性指標やそれに関連する多様性、遍在性といった指標について概説する。なお、Hidalgoらは国際貿易での国単位をベースとしているが、一国内の都市・地域への応用を念頭に言及することとする。

### 6.1 多様性 (Diversity) と遍在性 (Ubiquity)<sup>14</sup>

経済の複雑性を測定する上で、まずは多様性と遍在性を定義する必要がある。「集積の経済性」における集積を直接的に測る指標として、これまで特化係数などの指標が一般的に用いられてきたが、Hausmann and Hidalgo (2011) やHidalgo (2021) では、この特化係数をベースに「多様性」、「遍在性」、さらに「近接性」、「関連性」という概念へと展開を試みている。

まず、(1) 式のBalassaの特化係数をもとに、経済活動量(売上や総雇用者数、付加価値など)を  $x_{p,r} \in X$ 、経済活動の立地地域を  $r$ 、経済活動の活動内容(製品、産業、技術など)を  $p$  とし、再度定式化を行う。

$$RCA_{p,r} = \frac{x_{p,r}}{\sum_p x_{p,r}} / \frac{\sum_r x_{p,r}}{\sum_{p,r} x_{p,r}} \quad (13)$$

この式を解釈すると、

$$RCA_{p,r} = (\text{地域 } r \text{ の経済活動 } p \text{ のシェア}) / (\text{全地域の経済活動 } p \text{ のシェア})$$

を意味する。

2.3節では、 $RCA_{p,r} > 1$ の地域は活動  $p$  に特化しているとし、「顕示された比較優位性 (Revealed Comparative Advantage)」があるとしたが、より一般化し、 $RCA$ が閾値  $R^*$  以上のである場合に1、それ以外の場合に0をとる特化行列  $M_{p,r}$  を次のように定義する。

13 指標の詳細はAlbert et al. (2000) やCollaway et al. (2000) を参照。

14 VarietyとDiversityは日本語ではともに「多様性」となるが、生物学では同一種内の多様性をVariety、異種間での多様性をDiversityと区別していることもある。これを産業に提供すれば、同業種内の製品の種類はVarietyで、異業種間の材サービスの多様性はDiversityということになるが、本稿では厳密には区別して使っていない。

$$M_{p,r} = \begin{cases} 1 & \text{if } RCA_{p,r} \geq R^* \\ 0 & \text{if } RCA_{p,r} < R^* \end{cases} \quad (14)$$

このとき、地域  $r$  の多様性 (Diversity) は、

$$k_{0,r} = M_{1,r} + M_{2,r} + \dots + M_{I,r} = \sum_p M_{p,r} \quad (15)$$

と表すことができ、これは地域  $r$  において特化している経済活動 (製品) の数を示している。(15) 式の値は、特化している経済活動の数が多いほど、地域  $r$  の多様性は高いことを意味する証となる<sup>15</sup>。

他方、産業の立地分布に焦点を当てると、ある経済活動 (産業)  $p$  について、その特化係数が 1 を超えている地域が多いと、遍在性 (Ubiquity) があることになる。

$$k_{0,p} = M_{p,1} + M_{p,2} + \dots + M_{p,J} = \sum_r M_{p,r} \quad (16)$$

ここで「遍在」は「偏在 (偏りのあること)」とは異なり、広く行き渡りどこにでも存在していること、希少性が低いことを意味する。(16) 式はある経済活動に特化している地域数をカウントしており、特定の経済活動に特化している地域数が多いほど、その活動の遍在性は高い (希少性が低い) ことを意味する。

例えば、食料品製造業を対象に工業統計のデータを用いて、(13) 式をもとに各地域の  $RCA$  を算出し、 $RCA$  が閾値を超えている地域数をカウントすることで、食料品製造業の「遍在性」を算出することができる。

さらに、(15) 式と (16) 式を組み合わせることで、地域  $r$  での経済活動の平均遍在性を定義できる。

$$k_{1,r} = \frac{1}{k_{0,r}} \sum_p M_{p,r} k_{p,0} \quad (17)$$

この式の意味は、

$$\begin{aligned} k_{1,r} = & (\text{地域 } r \text{ の経済活動 1 の特化度: } 1 \text{ または } 0) \times (\text{活動 1 に特化している地域数}) \\ & + (\text{地域 } r \text{ の経済活動 2 の特化度}) \times (\text{活動 2 に特化している地域数}) \\ & + (\text{地域 } r \text{ の経済活動 3 の特化度}) \times (\text{活動 3 に特化している地域数}) \\ & + \dots \end{aligned}$$

となり、多様性の情報を遍在性の情報で更新している。

経済活動  $p$  を製品と想定し、2つの地域を比較する場合、仮に特化している製品の数が同数であっても、一方の地域は高い技術水準を要する遍在性の低い (希少性の高い) 製品を多く生産しており、他方の地域は技術水準の低い、遍在性の高い (希少性の低い) 製品を生産しているといった可能性も考えられる。これまで多様性を測定する指標として多く用いられてきた Herfindahl-Hirschman 指数やエン트로ピー指数では、製品を区別することができず、例えば同じシェアを持つ 2つの製品に対して同一の多様化の指標を示すという問題点がある。

他方、上記のように地域の視点から見た特化の程度 (多様性) に加えて、経済活動 (製品) の空間的な分布 (遍在性) の双方を捉えることで、製品を区別することができ、各地域の「経済複雑性 (Economic Complexity)」をより正確に捉えることができる。

15 このでの多様性は単純に 1 地域において  $RCA$  (特化度) が閾値以上の経済活動の数をカウントしているが、算出した経済活動の  $RCA$  (特化度) のばらつき (変動係数) によって、その地域の多様性を規定する方法も考えられる。

同様に、経済活動  $p$  の平均多様性を定義できる。

$$k_{p,1} = \frac{1}{k_{p,0}} \sum_r M_{p,r} k_{0,r} \quad (18)$$

この式は、遍在性の情報を多様性の情報で更新している。このように、多様性の情報を遍在性の情報で更新し、同様に遍在性の情報を多様性の情報で更新することができ、このプロセスを一般化して定式化する<sup>16</sup>。すなわち地域  $r$  の多様性  $k_r$  についてその地域の遍在性  $k_p$  の情報を更新し、さらに  $k_p$  の情報を用いて  $k_r$  の情報を更新するプロセスは次式のように表現できる。

$$k_{N,r} = \frac{1}{k_{0,r}} \sum_p (M_{r,p} \cdot k_{N-1,p}) \quad (19)$$

$$k_{N,p} = \frac{1}{k_{0,p}} \sum_r (M_{p,r} \cdot k_{N-1,r}) \quad (20)$$

ただし、 $N \geq 1$ 。

Hausmann and Hidalgo (2011) では、国は自国内に存在する能力に差があり、製品は必要とする能力に差があるため、その結果、能力の高い国はより多様化し、より多くの能力を必要とする製品はより少ない国しかアクセスできず、遍在性が低くなることを指摘している。また、能力の高い国は、より多くの能力を必要とする製品を作ることができるが、それは遍在性が低いことを意味する。すなわち、国の多様化とその国が作る製品の平均的な遍在性の間に負の関係があることを明らかにした。この点は一国内の地域を想定する地域経済においては、国家間ほど各地域の能力に差異があるとは考えにくいだが、同様の考え方が出来得る。また、製品を生産する能力には、取引できないインプットがあり、地域間の能力差異の要因となると考えられる。

## 6.2 経済複雑性指標 (Economic Complexity Index)

多様性及び遍在性の概念を用いることで、経済複雑性指標 (Economic Complexity Index: ECI) を定義することが可能である<sup>17</sup>。まず、地域  $r$  の複雑性を  $K_r$  とし、経済活動  $p$  の複雑性を  $K_p$  とし、次のように定義する。

$$K_c = f(M_{r,p}, K_p), \quad (21)$$

$$K_p = g(M_{r,p}, K_c). \quad (22)$$

すなわち、 $K_r$  と  $K_p$  は互いを関数とする形で定義できる。これは、前述の多様性の情報を遍在性の情報で更新し、同様に遍在性の情報を多様性の情報で更新するプロセスを意味する。このシステムは自己一致方式の組み合わせして次のように示すことができる。

$$K_c = f(M_{r,p}, g(M_{r,p}, K_c)), \quad (23)$$

16 鬼頭 (2019) では、このプロセスから経済複雑性指標までの導出を解説している。

17 経済複雑性導出までの詳細はHidalgo (2021) を参照。

$$K_p = g\left(M_{r,p}, f\left(M_{r,p}, K_p\right)\right). \quad (24)$$

Hidalgo and Hausmann (2009) は、 $f$  と  $g$  の平均値すなわち、地域の複雑性と経済活動（製品）の複雑性の平均値を用いて、経済複雑性指数 ( $ECI : K_r$ ) および製品複雑性指数 ( $PCI : K_p$ ) を定義している。

$$K_r = \frac{1}{M_r} \sum_p (M_{r,p} K_p) \quad (25)$$

$$K_p = \frac{1}{M_p} \sum_r (M_{r,p} K_r) \quad (26)$$

(25) 式、(26) 式とも一次方程式であるため、以下のように自己一致方式として表現することができる。

$$K_r = \tilde{M}_{rr'} K_{r'} \quad (27)$$

$$K_p = \tilde{M}_{pp'} K_{p'} \quad (28)$$

ただし、

$$\tilde{M}_{rr'} = \sum_p \frac{M_{p,r'} M_{p,r}}{M_r M_p} \quad (29)$$

$$\tilde{M}_{pp'} = \sum_r \frac{M_{p,r} M_{p',r}}{M_r M_p} \quad (30)$$

(28) 式 (29) 式の解は  $M_{p,r}$  の主成分でもある  $\tilde{M}_{rr'}$  及び  $\tilde{M}_{pp'}$  の固有ベクトルとなる<sup>18</sup>。また、 $\tilde{M}_{rr'}$  及び  $\tilde{M}_{pp'}$  は、ともに行確率行列のため、第1固有ベクトルは1となり、第2固有ベクトルが最大分散量を捉えるベクトルとなる。このベクトルが経済的複雑性及び製品複雑性の主要指標と捉えることができ、次式のように表現できる。

$$ECI_r = (K_r - \text{mean}(K_r)) / \text{stdev}(K_r), \quad (31)$$

$$PCI_p = (K_p - \text{mean}(K_p)) / \text{stdev}(K_p). \quad (32)$$

ただし、 $\text{mean}$  は平均、 $\text{stdev}$  は標準偏差を意味する。この  $ECI$  が 0 よりも大きい時、対象地域の中での平均的な地域よりも「経済複雑性」が高いと解釈することができる。

経済複雑性は、前述のような多様性と遍在性の反復的な更新のプロセスに従っている。例えば、各地域の経済複雑性は、その地域が地域間の平均を上回る経済活動（製品）を追加すれば  $ECI$  が増加すると考えられ、逆に平均を下回る経済活動（製品）を追加すれば  $ECI$  が減少する。

このように、経済複雑性はこれまで都市や地域経済の集積の概念として用いられてきた「特化」や「多様性」の概念から展開し、経済活動・製品から捉えた「遍在性」の概念を導入した、経済の潜在能力をより細かく捉えた指標と言える。

18 Mealy, et. al (2019) を参照。

## 7. おわりに

都市・地域経済における集積の指標には大別すると特化と多様性があり、それぞれ外部経済効果として、Marshal-Arrow-Romer型とJacobs型と言われている。また、クラスターの集積を提唱するPorter型の競争環境の指標もある。

これらを直接的に測る指標として、(修正)特化係数やHirshman-Halfindahl指数、エントロピー指数などが挙げられる。本稿では、中村(2008)やNakamura(2009)で展開した都市・地域の経済集積に関する指標について、それ以降において開発されてきた集積に直接・間接的に関係する指標について展望と評価を行った。

地域特化で表現される同業種の集積形態は産業分類の細かさによって評価指数に変動がある。Hidalgoらと同時期(独立)に、Frenkenらによるエントロピー指数の分解特性を使った「関連する多様性」と「関連しない多様性」の定量化は、それまでのJacobs型の多様性の概念を精緻化した。しかしながら、産業部門分類上での恣意性がつきまとう。

その精度を高めるのに「技術的関連性」の考え方が参考になる。技術で識別するので、ほとんどの場合の実証分析は製造業においてなされている。これは製品ベース(4桁分類もしくは6桁分類)での指標であって、結果的に技術的に関連しているものと見なせる。代表的なものにTeceらの企業レベルでの複数生産の組み合わせ確率を産業レベルに展開したNeffkeらの顕示関連性(Revealed Relatedness)が挙げられる。これは、同業種内におけるより詳細分類、製品レベルで見た多様性を製品空間のネットワーク図を描くことで見える化できる利点がある(Neffke and Svensson Henning, 2008)<sup>19</sup>。

こういった関連する多様性の概念は、Hidalgo et al. (2007)によって導入された製品空間の概念とも一致している。彼らは、国々は時間の経過とともに輸出ポートフォリオを多様化することによって発展すると主張した。各国が通常「分岐」することによって、つまり、すでに輸出している製品に密接に関連する輸出製品を入力することによってそうすることを示した。この現象の根底にある理由は、国が特定の製品の輸出に特化する能力を開発すると、それらを生産するために非常に類似した能力を必要とする関連製品に容易に多様化できるということ。可能性のある新製品ごとに国の輸出ポートフォリオにすでに存在する関連製品の「近接度」を計算することにより指数化が可能となる。

HidalgoやHausmannらのこういったモデルは顕示比較優位性(Revealed Comparative Advantage)という特化係数を1でダミー変数化して地域の産業集積と産業の集積分布との関連性を隣接行列に構築することで同時に測るものである。行列を解析すると、関連する製品が新しい潜在的な製品との平均的な近接性「密度」が高いほど、地域・国がこの新しい製品に多様化する可能性が高まることが検証される。

Hidalgoらは、さらに生物界の入れ子構造Nestednessの概念から、立地の遍在性と地域の多様性について作成した隣接行列から入れ子構造を利用した経済複雑性(Economic Complexity)の指標を提案し、この指標が大きい国は経済発展度が高いことを示している。この指標は集積を直接的に表すものではないが、複雑性は多様性の程度を示し、その多様性は集積を表現する要素であることから、経済複雑性の指数は集積の間接指標ともいえよう。

集積の諸指標は、その地域の経済構造の特徴を捉えるだけでなく、その各指標が表現する都市の特徴をもって、それらがどの程度、都市・地域経済が安定的に発展するための説明因子となっているかどうかをみるためのものである。発展の指標には、所得の伸び率や失業率の低さ、そして人口・雇用の変化率などが代表的である。

19 実証分析はいくつかあるが、例えばBoschma, et al. (2012)やBalland, et al. (2018)などが挙げられる。

技術的な関連性だけであれば工業統計の詳細分類のデータでもってHidalgo型の顕示比較優位性から求めた近接性指標を集計した中心性指標と密度指標を用いることで「地域特化」のより精度の高い指標となり得る<sup>20</sup>。また、サービス業なども含めた近接性を考えるのであれば経済センサスから小分類のデータを活用できよう。これらは、Frenken et al. (2007)の「関連する多様性」としてエントロピー指数を求めることもできよう。他方で、Hidalgoらの提案する経済複雑性の指標を、「多様性と遍在性」の隣接行列から測定することで、Jacobs型の多様性の新たな指標として位置づけられよう<sup>21</sup>。

#### 参 考 文 献

- Albert, R., Jeong, H., and Barabasi, A.-L. (2000) 'Error and Attack to Tolerance of Complex Networks,' *Nature*, No.406, pp.378-382.
- Balland, P.-A., Boschma, R., Crespo, J., Rigby, D. L. (2018) 'Smart Specialization Policy in the European Union: Relatedness, Knowledge Complexity and Regional Diversification,' *Regional Studies*, Vol.53, pp.1252-1268.
- Balassa, B. (1965) 'Trade Liberalization and Revealed Comparative Advantage,' *Manchester School of Economics and Social Studies*, Vol.33, pp.99-123.
- Boschma, R., Balland, P.A., and Kolger, D. (2014) 'Relatedness and Technological Change in Cities: The Rise and Fall of Technological Knowledge in US Metropolitan Areas from 1981 to 2010,' *Industrial and Corporate Change*, Vol.24, No.1, pp.223-250.
- Boschma, R. and Frenken, K. (2011) 'Technological Relatedness and Regional Branching,' in H. Bathelt, M.P. Feldman and Kogler, D.F. eds., *Beyond Territory. Dynamic Geographies of Knowledge Creation, Diffusion and Innovation*, Routledge, London and New York, pp. 64-81.
- Boschma, R., Minondo, A., and Navarro, M. (2012) 'The Emergence of New Industries at the Regional Level in Spain: A Proximity Approach based on Product Relatedness,' *Economic Geography*, Vol.89, No.1, pp.29-51.
- Boschma, R., Minondo, A., and Navarro, M. (2012) 'Related Variety and Regional Growth in Spain,' *Papers in Regional Science*, Vol.91, No.2, pp.241-256.
- Breschi, S., Lissoni, F., and Malerba, F. (2003) 'Knowledge-Relatedness in Firm Technological Diversification,' *Research Policy*, Vol.32, pp.69-87.
- Bryce, D. and Winter, S. (2009) 'A General Inter-Industry Relatedness Index,' *Management Science*, Vol.55, No.9, pp.1570-1585.
- Collaway, D.S., Newman, M.E.J, Havlin, S.H., and Watts, D.J. (2000) 'Network Robustness and Fragility: Percolation on Random Graphs', *Physical Review Letters*, Vol.85, No.25, pp.5468-5471.
- Content, J. and Frenken, K. (2016) 'Related Variety and Economic Development: A Literature Review,' *European Planning Studies*, Vol.24, No.12, pp.2097-2112.
- De Groot, H.L.F., Poot, J., & Smit, M.J. (2016) 'Which Agglomeration Externalities Matter Most and Why?' *Journal of Economic Surveys*, Vol.30, No.4, pp.756-782.
- Duranton, G. and Puga, D. (2005) 'From Sectoral to Functional Urban Specialization,' *Journal of Urban Economics*, Vol.57, pp.343-370.
- Fan, J.P. and Lang, L.H. (2000) 'The Measurement of Relatedness: An Application to Corporate Diversification,' *The Journal of Business*, Vol.73, No.4, pp.629-660.
- Frenken, K., Oort, F.V., and Verburg, T. (2007) 'Related Variety, Unrelated Variety and Regional Economic Growth,' *Regional Studies*, Vol.41, No.5, pp.685-697.
- Gervais, A., Marksen, J.R., and Venables, A.J. (2020) 'Urban Specialization; From Sectoral to Functional,' *NBER Working Paper* 28352.
- Glaeser, E.L., Kallal H., Scheinkman, J., and Shleifer, A. (1992) 'Growth in Cities,' *Journal of Political Economy*, Vol.100, No.6, pp.1126-1152.
- Hausmann, R. and Hidalgo, C.A. (2011) 'The Network Structure of Economic Output,' *Journal of Economic Growth*, Vol.16, pp.309-342.
- Hausmann, R., Hidalgo, C., Stock, D., and Yildirim, M. (2020) 'Implied Comparative Advantage,' CID Faculty Working Paper No.276.
- Hidalgo, C.A. and Hausmann, R. (2009) 'The Building Blocks of Economic Complexity,' *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, Vol.106, No.26, pp.10570-10575.
- Hidalgo, C.A. (2021) 'Economic Complexity Theory and Applications,' *Nature Reviews Physics*.
- Hidalgo, C.A., Klinger, B., Barabashi, A.L., and Hausmann, R. (2007) 'The Product Space Conditions the Development of Nations,' *Science*, No.317, pp.482-487.
- Jacobs, J. (1969) *The Economy of Cities*, Vintage Books, New York.
- Mariani, M.S., Zhuo-Ming Ren, Z., Bascompte, J., and Tessone, C.J., (2019) 'Nestedness in Complex Networks: Observation, Emergence, and Implications,' *Physics Report*, No.813, pp.1-90.

20 Hausmann, et al. (2020) は比較優位性について新たな特化係数の捉え方を提案している。

21 HidalgoらのRCAを1で区切り2分化する方法は、特化の程度を捨象することになるので注意が必要である。

- Mealy, P., Farmer, J.D., and Teytelboym, A. (2019) 'Interpreting Economic Complexity,' *Science Advances*, No.5, pp.1-8.
- Nakamura, R. (2009) 'Measuring Agglomeration,' Chapter 16 in *Handbook of Regional Growth and Development Theories* edited by R. Capello and P. Nijkamp, Edward Elgar.
- Neffke, F. Henning, M. and Boschma, R. (2011) 'How do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions,' *Economic Geography*, Vol.87, No.3, pp.237-265.
- Neffke, F. and Svensson Henning, M. (2008) 'Revealed Relatedness: Mapping Industry Space,' *Papers in Evolutionary Economic Geography*, #08.19, Urban and Regional Research Centre Utrecht, University of Utrecht, Utrecht.
- Neffke F. and Henning, M. (2013) 'Skill-relatedness and Firm Diversification,' *Strategic Management Journal*, Vol.34, No.3, pp.297-316.
- Piscitello, L. (2000) 'Relatedness and Coherence in Technological and Product Diversification of the World's largest Firms,' *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol.11, pp.295-315.
- Theil, H. (1972) *Statistical Decomposition Analysis*, North-Holland, Amsterdam.
- Teece, D., Rumelt, R., Doci, G. and Winter, S. (1994) 'Understanding Corporate Coherence: Theory and Evidence,' *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol.23, pp.1-30.
- Whittle, A. and Kogler, D.F. (2019) 'Related to What? Reviewing the Literature on Technological Relatedness,' *Papers in Regional Science*, Vol.99, pp.97-113.
- 鬼頭朋見 (2019) 第2章「ネットワーク分析指標の経済系への応用」, 林幸雄編『Pythonと複雑ネットワーク分析』, 近代科学社.
- 中村良平 (2008) 「都市・地域における経済集積の測度 (上)」岡山大学経済学会雑誌, 39巻4号, 99～121頁.

## **New Agglomeration Indicators in Urban and Regional Economies**

Ryohei Nakamura, Takeshi Nagamune

### Abstract

The indicators of agglomeration in urban and regional economies can be broadly classified into specialization and diversity, each of which is called the Marshal-Arrow-Romer type and the Jacobs type as external economic effects. There is also a Porter-type competitive environment indicator that advocates cluster-like agglomeration. The (modified) specialization coefficient, the Hirshman-Halfindahl index, and the entropy index are examples of indices that directly measure these factors. This paper reviews and evaluates indicators related to urban and regional economic agglomeration developed by Nakamura (2008) and Nakamura (2009), as well as indicators directly and indirectly related to agglomeration that have been developed since then. rice field.