

森林と産業の生態系を結合する

– 産業連関ネットワークを対象としたインターリンクージ分析 –

Connecting Forest and Industrial Ecosystems – Interlinkage Analysis of Industrial Ecosystems –

松井 孝典*¹
MATSUI Takanori

松本 慎平*²
MARSTUMOTO Shinpei

R. N. SHAW*¹
R. N. SHAW

加藤 悟*¹
KATO Satoru

町村 尚*¹
MACHIMURA Takashi

*¹ 大阪大学大学院工学研究科

*² 広島工業大学

Graduate School of Engineering, Osaka University Hiroshima Institute of Technology

Human activity such as industrial production activity depends strongly on “ecosystem services”, which ecosystems provide to human system in diverse ways and support human wellbeing. However it is difficult to realize such kind of tangible and intangible services without visualization technology. From this background, the purpose of this study is to evaluate interlinkage between forest ecosystems and industrial ecosystems through AI-related technology, especially network analysis. Through this analysis, the connectivity between forest ecosystems and industrial ecosystems was quantitatively-modeled and the structure of the interlinkage was visualized.

1. 生態系サービスの持続利用

2005 年に国連により公開された Millennium Ecosystem Assessment では、人間社会は福利のために多く自然生態系に依存していることが示された[United Nation 05]. 豊かなバイオマス資源と生物多様性は人類に「生態系サービス」と称される恵みをもたらし、人間の生産消費活動はこれに強く依存する形で行われている。生態系サービスは、木材・水・遺伝資源などの供与を意味する「供給サービス」、大気・水・土壌などの浄化や制御を行う「調整サービス」、自然生態系が持つ精神的・霊的価値を利用して行うレクリエーションや教育など「文化的サービス」、それらのサービスの生成を支持するための栄養塩循環や光合成などを意味する「基盤サービス」に分類される。とりわけ 2006 年の生物多様性条約締結国会議(CBD-COP8)でも決議されたように、自然生態系サービスに強く依存して生産・消費活動を行う産業セクタは保全への積極的な関与が求められ、自然生態系と自らのセクタとの相互連関関係(以下、インターリンクージ)を事業継続における重大なリスク要因と認識して、生態系サービス利用の分析手法や評価技術の開発を進めている[WBCSD 11]. そこで本稿では、現在開発を進めている生態系サービス利用評価フレームワーク[町村 10]の一部として、産業連関にネットワーク分析を応用して、産業セクタ間のインターリンクージとそこで利用される生態系サービスの評価を行った事例を示す。

2. 自然・産業生態系のインターリンクージ評価

2 章では、自然生態系と産業生態系のインターリンクージを評価するために用いたデータソースおよび分析手法を示す。

2.1 インターリンクージを表現するデータの入手と加工

一般に、ネットワーク分析にはエージェント間の Input-Output を表現した隣接行列型のデータが必要になる。本研究では、産業セクタ間の Input-Output に関するデータとして、総務省統計局が公開する産業連関表の 1995～2005 年度版を複合的に用いた[総務省統計局 09]. この産業連関表とは、産業セクタ間の経済的な取引関係[単位: 百万円]を、行方向に販路の構成、列

方向に費用の構成として隣接行列で表現したものであり、それぞれ行方向が各産業セクタからのアウトプット、列方向が各産業セクタに対するインプットを意味する。

2.2 生態系サービス利用量への変換

次に、上記の経済的取引を生態系サービス利用量(以下、ESU: Ecosystem Service Use)に変換し、産業セクタと自然生態系とのリンクージを評価した。本研究では、自然生態系を「森林生態系」とし、森林生態系が有するサービスインベントリのうち代表的かつ定量化が比較的容易なサービスとして、供給サービスでは「木材・水供給サービス(以下、ESU_{wood}, ESU_{water})」、調整サービスでは二酸化炭素固定、硫黄・窒素酸化物沈着、(以下、ESU_{CO2}, ESU_{SN})を選択した。具体的な ESU への変換は、各産業セクタの単位経済便益(百万円)を生み出すために利用あるいは排出する環境影響(例えば、木材供給ならば丸太換算の[m³/百万円]、CO₂ならば炭素換算重量[tC/百万円]など)を算出し、これを供給あるいは調整する機能を発揮するために必要となる森林生態系の面積[ha/百万円]に変換した。この変換により、2.2 で述べた産業セクタの IO 関係を経済的な取引で表現した産業連関表は、自然生態系からのサービスの単位で再解釈することが可能となる。詳細な分析過程は誌面の制約上、別稿に示す[Shaw 10].

2.3 自然生態系を加えた隣接行列の生成

ネットワーク分析に用いる産業セクタ数は、1995 年の産業連関表の中分類にあたる 93 部門とした。これらの 93 部門間の金銭的な取引関係は 2.2 に示した ESU への変換プロセスにより、自然生態系との結合強度を示す値に変換されているが、この結合に利用されている ESU 自体は「自然生態系」が各産業セクタに供給するものであり、これを定量的に示す必要がある。よって本研究ではその供給主体としての「森林生態系セクタ」を 94 部門目として隣接行列に追加した。このときの森林生態系セクタの IO データについて、販路の構成には、他の産業セクタが利益を得るための ESU の全量が自然生態系由来であることを仮定して産業セクタが利用する ESU と収支が閉じるデータを入力した。また費用の構成には、自然生態系が ESU を生成するための費用は太陽光や気候等の入力であり、産業セクタからの入力は 0 とし、行列数 94 の隣接行列を生成した。

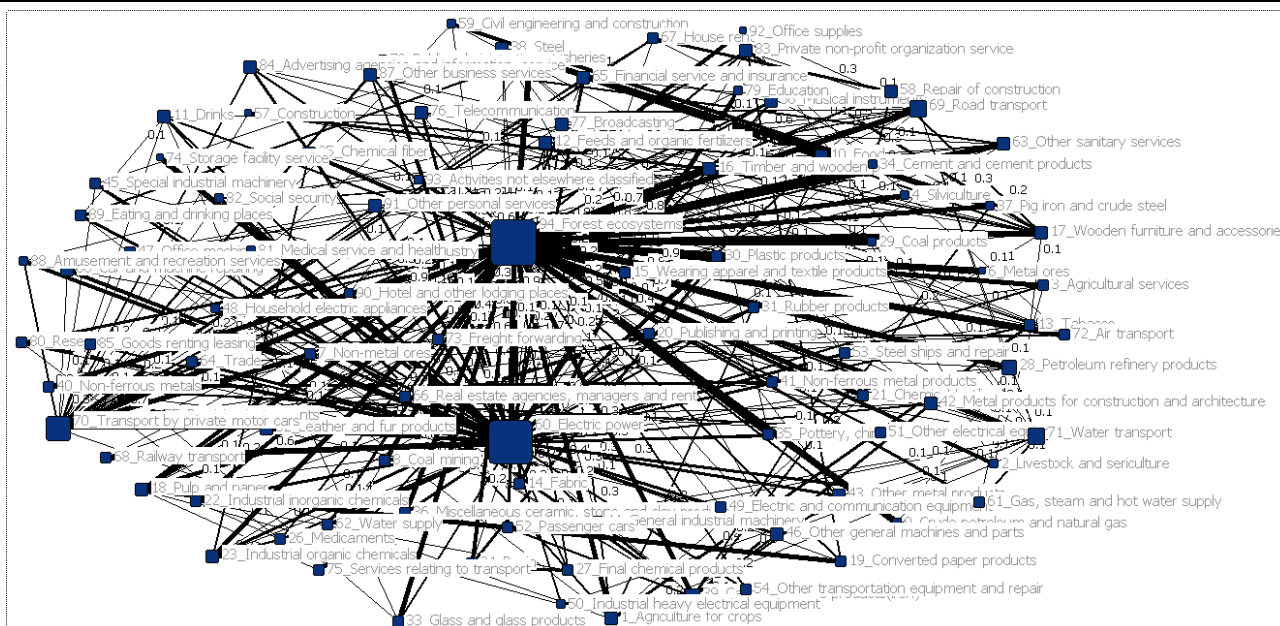


図1 森林生態系を含む生態系サービスを介した産業連関ネットワーク構造

2.4 産業連関ネットワーク分析

2.3 で得られた隣接行列に対して、各種のネットワーク分析を行い、ネットワーク分析におけるネットワークの特性を表す中心性など基本的なネットワークの統計量により、産業間ネットワークにおける自然生態系の重要性や位置付けなどを分析した。なお、ネットワーク構造の描写には Analytic Technologies 社の Netdraw、ネットワーク指標の算出には統計解析ソフトウェア R を用いた。

3. 結果

3.1 森林生態系を含む生態系サービスを介した産業連関ネットワーク

まず図1には、森林生態系を含む全産業セクタが形成する生態系サービスを介した産業連関ネットワークの構造を示す。グラフのリンクは費用の構成を標準化した流通量を算出し、それが5%以上のリンクのみを重み付けして表示しており、ノードには固有値による重み付けを行っている。図1の中央にある2つの巨大なノードは、それぞれ「ID94: 森林生態系」と「ID60: 電力セクタ」を表しており、生存基盤としてのエネルギー供給と生態系サービスが産業ネットワークの中心を担うハブとして極めて重要なセクタになっていることが示唆されている。

3.2 自然生態系を含む場合のネットワーク指標の変化

次に、表1に自然生態系を含む94部門と、産業セクタのみの93部門でのネットワーク指標の比較を示す。なおデータはESUや金銭の大きさを非ゼロの場合にバイナリ化して用いて計算した。密度、推移性、相互性すべてで自然生態系を考慮した方が小さくなっている。生態系を通じてより密な結合を形成しているという直感的な理解とは異なる結果になっているが、これはESUのみを流通する情報に用いたため各産業セクタから森林生態系への入力がないことが原因であり、実世界での森林生態系への入力要素を考えると、太陽光や水と二酸化炭素、窒素、リンなども考えることでより詳細なネットワーク構造の把握につながると考えられる。

表1 ネットワーク指標の比較

| | 自然生態系あり | 自然生態系なし |
|-----|---------|---------|
| 密度 | 0.58589 | 0.59926 |
| 推移性 | 0.84684 | 0.84827 |
| 相互性 | 0.40690 | 0.41480 |

4. 今後の課題

先述の分析モデルの改良に加えて、[国際連合大学 11]などが行っている将来シナリオの予測と連動させた中長期でのネットワーク構造の変化のシミュレーションの実行や、BIOME-BGCなどの種々の生態系プロセスモデルと連動したネットワーク解析モデルの開発等を検討する必要がある。

参考文献

- [United Nation 05] United Nation: Millennium Ecosystem Assessment, <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>, 2011.4.6 referred.
- [WBCSD 11] World Business Council for Sustainable Development, World Resource Institute, Corporate Ecosystem Service Review, <http://www.wri.org/publication/corporate-ecosystem-services-review>, 2011.4.6 referred.
- [町村 10] 町村尚, 松井孝典, R.N.SHAW, 盛岡通: 「生態系サービス利用」を尺度とする新たな社会システムの構築, 環境情報科学, Vol. 39 No.3, pp. 76-81, 2010.
- [総務省統計局 09] 総務省統計局: 産業連関表, <http://www.stat.go.jp/DATA/io/index.htm>, 2011.4.6 referred.
- [Shaw 10] R. N. SHAW, T. MATSUI, T. MACHIMURA, S. KATO, T. MORIOKA: Connecting Industry and Ecosystems: A Macro Analysis of Forest Ecosystem Services Use in Japanese Industry Sectors: paper on Environmental Information Science, vol.24, pp. 213-218, 2010.
- [国際連合大学 11] 日本の里山・里海評価, < http://www.ias.unu.edu/sub_page.aspx?catID=111&ddlID=1418>, 2011.4.6 referred.