ネットワーク分析を用いた循環型社会概念の俯瞰的整理

木村　道徳[1]・原　圭史郎[2]・上須　道徳[3]

[1]正会員　大阪大学大学院特任研究員　工学研究科環境・エネルギー工学専攻
（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2－1）
E-mail: kimura@ue.see.eng.osaka-u.ac.jp
[2]正会員　大阪大学サステイナビリティ・デザイン・センター特任講師（同上）
E-mail: hara@sdc.osaka-u.ac.jp
[3]非会員　大阪大学サステイナビリティ・デザイン・センター特任助教（同上）
. E-mail: uwasu@sdc.osaka-u.ac.jp

本研究は，「循環型社会」に関する研究課題について，その研究概念を俯瞰的に整理し，研究領域の傾向や特徴を明らかにすることを目的とする．具体的には，循環型社会研究に設定されているキーワードに着目し，ネットワーク分析手法を用いてキーワードを共有している研究間に関係性があると捉える循環型社会研究ネットワークと，同時に設定されているキーワード間に関係性があると捉えるキーワード共起ネットワークの二つのネットワークの構築をおこない，分析することで研究領域を明らかにした．分析の結果，我が国の循環型社会研究は一つのネットワークを形成しており，「リサイクル」や「廃棄物」，「環境」，「持続可能性」に関する研究が中心的な研究領域であることがわかった．

Key Words : *sound material-cycle society，network analysis，text mining，Grants-in-Aid for Scientific Research*

1. はじめに

持続可能な社会を構築する上では，大量生産，大量消費，大量廃棄というパラダイムから脱却し，「循環型社会」を構築することが重要な課題となっており，これまで，様々な取り組みや関連研究が進められてきた．日本においては，2000年に「循環型社会形成推進基本法」が制定され，その中で循環型社会とは，1) 製品等が廃棄物等となることが抑制され，2) 製品等が循環資源となった場合においてはこれについて適正に循環的な利用がおこなわれることが促進され，3) 循環的な利用がおこなわれない循環資源については適正な処分が確保され，もって天然資源の消費を抑制し，環境への負荷ができる限り低減される社会，と定義されている[1]．一方で「循環型社会」の概念自体は非常に広範なものであり，その結果，関連研究についても，資源の再利用やリサイクル等に関わる技術的側面や制度設計，あるいは評価システムなど様々な角度からのアプローチが試みられており，研究課題の設定も多岐にわたっていることから，「循環型社会」研究全体の俯瞰的な把握が困難な状況にあった．

このような背景から，本研究では，ネットワーク分析を適用することにより，日本におけるこれまでの「循環型社会」関連の研究の傾向と特徴を分析し，俯瞰的に把握することを目的としている．

2. 研究の方法

本研究では，循環型社会研究のネットワーク構造化と分析をおこなうにあたり，専用ソフトとしてテキストマイニングにttm[2]を，ネットワーク分析にはPajek[3]を用いた．

(1) 研究対象

本研究で対象とする循環型社会研究は，科学研究費補助金[4]により助成を受けている研究とする．科学研究費補助金は，人文科学から自然科学までの幅広い分野の研究に対し助成をおこなっており，循環型社会研究の対象とする領域を俯瞰するにあたり適当であると考えられる．また，科学研究費補助金により助成を受けた研究は，基

本的に報告書の提出が求められ，インターネット上の科学研究費補助金データベース[5]にて研究概要が一般に公開されている．

本研究では，このデータベースのキーワード検索機能を用い，研究タイトルおよび研究概要，研究キーワードの中に「循環型社会」が含まれている研究を抽出し研究対象とする．検索の結果，369の研究が抽出されたが，2010年度と2009年度に採択された計5つの研究については，研究キーワードなどの研究概要を特定するための情報が記載されていなかったため除外し，364研究を対象とした．

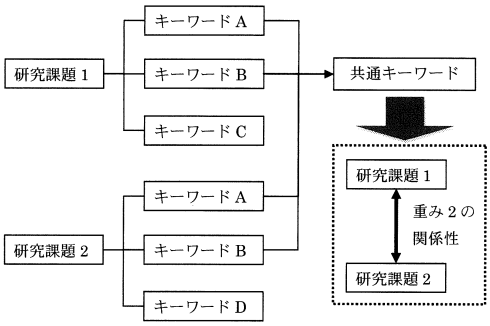

図-1 循環型社会研究ネットワークの構造化

(2) 研究方法

科学研究費補助金データベースのキーワード検索にて抽出した循環型社会研究には，基本的に基礎情報として「研究タイトル」，「研究分担者等」，「研究種目」，「配分額」，「研究概要」，「キーワード」などが格納されている．このうち「キーワード」は，各研究が対象とする研究領域および内容を端的に示すものであり，これを集計整理することで，循環型社会研究が対象としている（しようとしている）領域を俯瞰的に明らかにすることが期待できる．

本研究では，この「キーワード」の集計整理にネットワーク分析を用いることで，循環型社会研究間の関係性を明らかにする循環型社会研究ネットワークと，各研究に設定されているキーワード間の関係性を明らかにするキーワード共起ネットワークの二つのネットワークの作成をおこなう．

循環型社会研究ネットワークの作成は**図-1**に示すように，各研究をノードに，キーワードを紐帯とし研究間で共通したキーワードを持つ場合に関係性があるとする．また，研究間において複数のキーワードが共通している場合，これを全て集計する．これにより構造化される研究ネットワークは，重み付対称ネットワークとなる．

次に，各研究に複数のキーワードが設定されている場合，これは総体として研究領域を示すものであると考えられる．このことからこれらキーワード間には関係性があると考え，**図-2**に示すように各研究に同時に出現（共起）するキーワードを研究毎に集計をおこなうことでキーワード共起ネットワークの作成をおこなう．複数の研究において同一のキーワード群が共起している場合は，これらキーワード間にはより強い関係性があると考え，重みを付けて集計をおこなう．このようなことから，キーワード共起ネットワークも重み付対称ネットワークであり，複数の研究に多く共起するキーワード間の関係性を強く示すことができ，循環型社会研究における主流的領域を特定することができる．

本研究で作成する二種類のネットワークは，特にキーワードが重要となるが，各研究に記載されているキーワードは，代表者および分担者によりある程度自由に設定されているものであり，研究課題毎に設定方法が微妙に異なっている場合がある．たとえば「ライフサイクルアセスメント」と「ライフサイクル」，「LCA」などのように表記の揺れや同義語が存在している場合や，「地域環境計画」が「地域」と「環境計画」のように別々のキーワードに設定されている例，「バイオマスの活用実態」などのように助詞が用いられている例などがある．

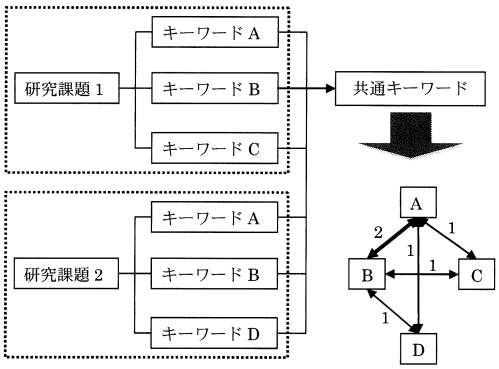

図-2 研究キーワード共起ネットワークの構造化

キーワードは1研究あたり5語以上記載されていることが多く，30語以上のキーワードを記載している研究もあるため，全364の研究全てのキーワードについて意味を読み取り手作業で整理することは困難である．

このようなことから本研究では，まずテキストマイニング手法を用いてキーワードをある程度分割し，集計をおこなう．集計された結果のうち出現件数が多く，研究結果に強い影響を与えると考えられるキーワードについては，同義語と考えられるものはひとつにまとめた．また，環境計画などのように，本来は「環境」と「計画」に分割できるキーワードに関しては複合名詞として「環境計画」とし，「地域の環境計画」のように助詞を含むものに関しては，「地域」と「環境計画」のように助詞を境に分けて抽出し集計をおこなった．

表-1　出現件数上位50位のキーワード

キーワード	合計				
リサイクル	94	アセスメント	13	ネットワーク	7
ごみ	62	教育	13	水	7
環境	60	環境教育	12	パートナーシップ	7
持続可能性	49	アジア	12	韓国	7
経済	45	LCA	11	モデル	7
再資源	44	政策	10	セルロース	7
廃棄|物	44	家電	9	バイオ|ガス	7
エネルギー	34	拡大|生産|者|責任	9	合意|形成	6
バイオ|マス	26	負荷	9	産業|連関	6
地域	26	中国	8	環境管理	6
農業	24	産業|廃棄|物	8	工学	6
資源	22	食品	8	シミュレーション	6
環境政策	20	再生	8	環境共生	6
都市	18	環境経済学	7	地球環境	6
環境保全	15	自然	7	環境配慮	6
環境問題	14	廃棄物再資源化	7	有機|性|廃棄|物	6
物質	13	地球|温暖|化	7		

また，テキストマイニングをおこなうにあたっては，そもそも研究対象となるキーワードは循環型社会をキーワードとして検索をおこなって特定されたものであることから，「循環型社会」に関わるキーワードが含まれているのは当然であり，これらは除外した．

3. 循環型社会研究のネットワーク構造化と分析結果と考察

(1) 循環型社会研究のキーワード集計の結果

まず，本研究で対象とする364の循環型社会研究に設定されているキーワードを対象にテキストマイニングをおこない集計した結果，3055種類のキーワードが特定された．その中で出現件数の多い上位50位までのキーワードを**表-1**に示す．

表の合計値は，各キーワードを設定していた研究数を示すものであり「リサイクル」や「ごみ」，「環境」，「持続可能性」などが多くの研究で設定されていたキーワードであった．リサイクルに関しては，全研究の約26%で用いられているキーワードであり，循環型社会研究における代表的なキーワードであると考えられる．

次に**図-3**に，年度別に科学研究費補助金における循環型社会研究の採択件数と，上位10キーワードの出現件数を年度単位でまとめたものを示す．循環型社会研究は2000年前後から採択件数が増加しており，2005年以降は減少傾向にあることがわかる．上位キーワードの変動は，全体の出現件数が50を超える「リサイクル」や「ごみ」，「環境」などにおいて循環型社会研究の採択件数と近似しており，これらをキーワードとする研究が一定割合継続的におこなわれていることがわかる．また，「持続可能性」や「バイオマス」といったキーワードは2000年前後から出現件数が増加しており，近年研究対象として注目されている可能性があると考えられる．

(2) 循環型社会研究ネットワーク

次に，循環型社会研究ネットワークを作成し，可視化したネットワークグラフを**図-4**に示す．グラフのノードは各研究を，紐帯は研究間で共有しているキーワードを表している．また，紐帯が太いほど研究間で共通しているキーワードが多いことを表す．すなわちこれらの研究は内容や研究対象が似通っており，より関係性が強いものであると考えられる．

ネットワークグラフにより，14の研究課題がどこの研究とも接続しておらず独立しているものの，全体的にはひとつのネットワークを形成しており，循環型社会研究はひとつのまとまりを持つものであると考えられる．ま

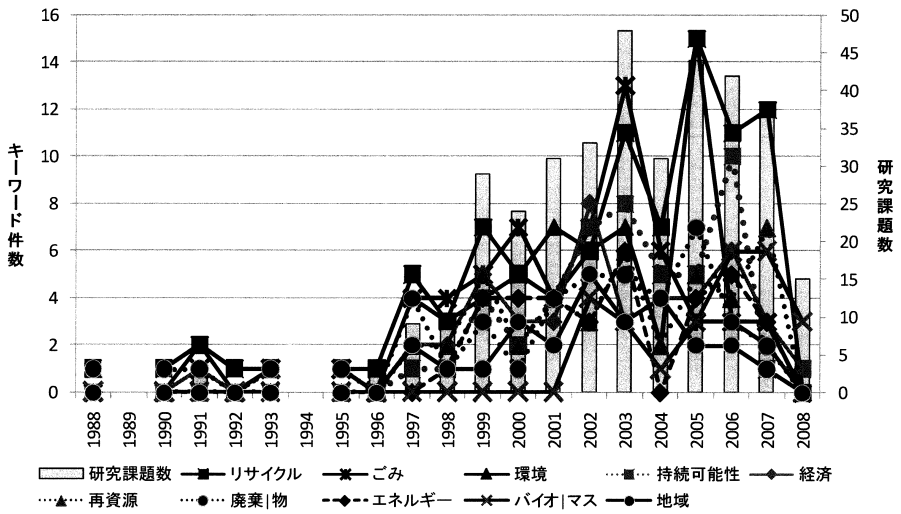

図-3　年度別循環型社会研究採択件数と上位10キーワード変遷

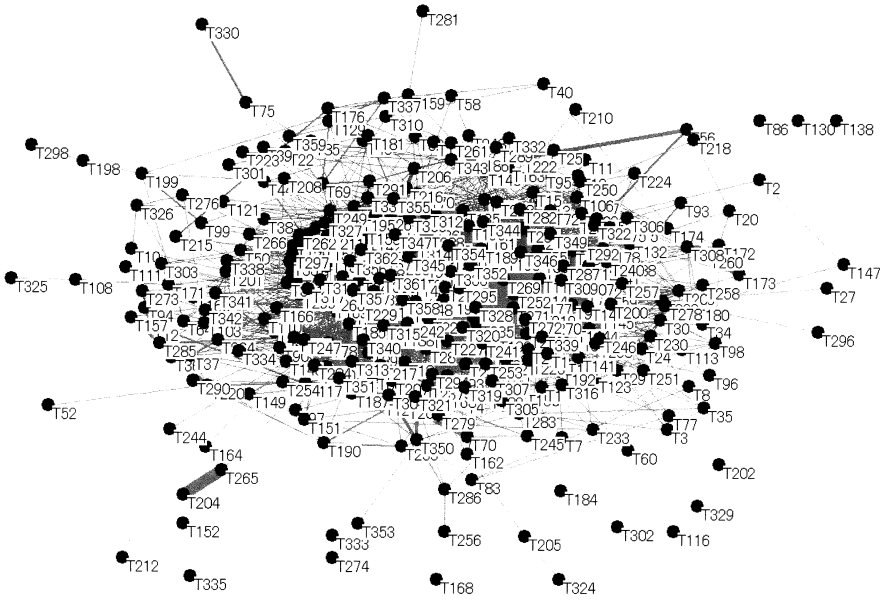

図-4 循環型社会研究ネットワーク

たこのネットワークの直径は8であり，これは最大で8 Stepを経ることで接続している全てのノードに到達することができることを表す．さらに，ネットワーク内のノード間全てに関係性がある状態を1とするネットワーク密度においては，本ネットワークは約0.08であり，それほど密度は高くないと考えられる．

このことから，比較対象や指標がないものの，比較的密度が低く全ての研究に到達するために8 Stepを必要とすることは，循環型社会研究が対象とする領域にはある程度の隔たりが存在し広がりを持つものと考えられる．これは，循環型社会研究が多岐に渡っていることを示すと考えられる．

しかし，ネットワークグラフの中央には紐帯が集中している部分があるなど濃淡がみられ，研究により結びつきに強弱が存在していることがわかる．そこで，1研究あたりどの程度の研究と関係性を持つのかを表す次数分布を集計したものを**図-5**に示す．次数分布により，20以下の研究が50％以上を占めるものの，100を超える研究も約8％程度存在する．このことから，循環型社会研究の領域の密度には濃淡が存在し，多くの研究がひしめき合う中心的な部分と，比較的密度の低い周辺部に分けることができると考えられる．

(3) キーワード共起ネットワーク

次に，循環型社会研究ネットワークにおいて共有されている研究概念の構造化をおこなうために，キーワード共起ネットワークの作成をおこなう．キーワード共起ネットワークを作成するにあたり，テキストマイニングから特定された3055のキーワード全てを調査対象にネットワークを作成すると，ノード数が多くなり結果を読み取ることが困難になる．このことから，テキストマイニングの結果出現件数が多い順に上位100位までを調査対象とし，キーワード共起ネットワークの作成をおこなった．

結果を可視化したネットワークグラフを**図-6**に示す．**図-6**より，上位100キーワードに限定されているものの，循環型社会研究に用いられるキーワードは全体として1つのネットワークを形成していることがわかった．ネットワークの密度は0.23で直径は3であることから，比較的凝縮的なネットワークが形成されていると考えられる．また，ネットワークグラフには，さらに関係性を多く持ち紐帯が濃くなっている部分と，比較的そうではない薄い部分とに分かれており，循環型社会研究ネットワーク

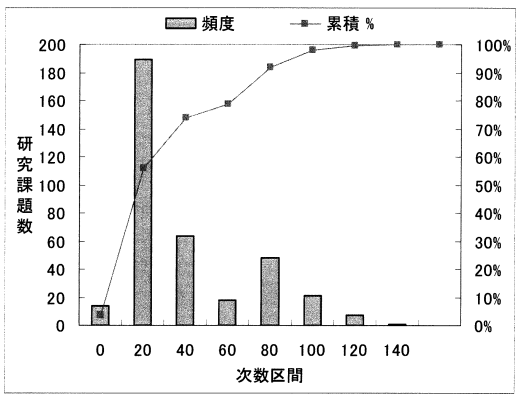

図-5 研究課題間ネットワークの次数分布

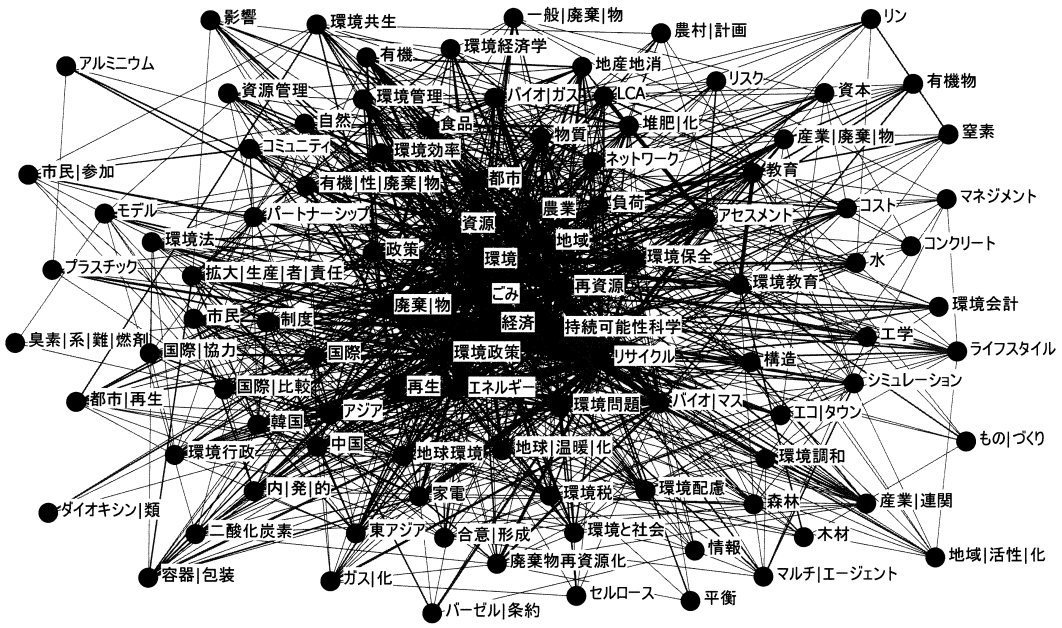

図-6　循環型社会研究におけるキーワード共起ネットワークグラフ

で指摘した中心的な研究領域の概念を含むものと考えられる．

このようなことから，次に循環型社会研究における中心的な概念を特定するために，次数分布を求めた．キーワード共起ネットワークの次数分布は，各キーワードと共通して出現するキーワード数を表すものであり，多くのキーワードと共起して出現するキーワードは中心的な概念を示すものと考えられる．

表-2は次数の多い上位20位までをまとめたものである．「リサイクル」が81で最も多く，次に「環境」の79キーワード，「持続可能性」が74キーワードと共起しており，これら次数分布上位のキーワードが循環型社会研究において中心的な概念を表すものであると考えられる．しかし，「環境」や「持続可能性」，「経済」などの用語は，一般に幅広い意味で使われるものであり，単体では具体的な研究領域をイメージすることが困難なキーワードである．

そこで次に，**表-3**に多くの研究で共起しているキーワードの組合せパターンのうち，上位30位までをまとめたものを示す．

上位の組合せパターンでは，「リサイクル－廃棄物」や「リサイクル－ごみ」，「リサイクル－再資源」のように，リサイクルに関連するキーワードの組合せパターンが多くみられる．このことから循環型社会研究においては，廃棄物やごみの再資源化を目指すリサイクル研究領域が中心的と考えられる．

また，単体では研究領域の特定が困難であったキーワードに関しても，「環境－経済」や「環境－持続可能性」，「リサイクル－経済」のように組み合わせパターンで見ることで，環境の経済的側面および持続可能性，リサイクルの経済性などある程度具体的な研究イメージ

表-2　上位20位までのキーワード次数分布

順位	キーワード	次数	順位	キーワード	次数
1	リサイクル	81	11	地域	47
2	環境	79	12	バイオ|マス	43
3	持続可能性	74	13	資源	43
4	ごみ	71	14	環境保全	35
5	経済	68	15	環境問題	34
6	再資源	63	16	アジア	34
7	廃棄|物	61	17	政策	34
8	エネルギー	58	18	都市	33
9	環境政策	53	19	再生	32
10	農業	51	20	物質	29

表-3　上位30位までの共通キーワード組合せパターン

順位	件数	キーワード組合せ	順位	件数	キーワード組合せ
1	29	リサイクル-廃棄|物	16	10	ごみ-エネルギー
2	24	リサイクル-ごみ	17	10	ごみ-都市
3	20	リサイクル-環境	18	10	環境-エネルギー
4	18	リサイクル-再資源	19	9	環境-再資源
5	16	ごみ-廃棄|物	20	9	環境-負荷
6	16	環境-経済	21	9	エネルギー-資源
7	13	環境-持続可能性	22	9	持続可能性-地域
8	13	ごみ-環境	23	9	再資源-地域
9	12	リサイクル-経済	24	9	リサイクル-家電
10	12	持続可能性-経済	25	9	再資源-農業
11	11	持続可能性-再資源	26	9	リサイクル-エネルギー
12	11	再資源-廃棄|物	27	9	環境-廃棄|物
13	10	持続可能性-環境政策	28	8	持続可能性-エネルギー
14	10	リサイクル-持続可能性	29	8	ごみ-再資源
15	10	ごみ-経済	30	8	経済-地域

の把握がおこなえる.

4. 結論と今後の展望

本研究では，循環型社会に関する研究が対象とする研究領域を俯瞰的に整理することを目的に，これら研究のキーワードの構造化をおこなった．結果，次のような知見を得ることができた.

1) 循環型社会に関する研究のキーワードをテキストマイニングにより集計した結果，「リサイクル」や「廃棄物」，「環境」をキーワードとする研究が継続的におこなわれており，また2000年頃より「持続可能性」や「バイオマス」などに関する研究がおこなわれるようになっている．なお，バイオマス利用については，昨今「低炭素社会」構築の上でも重要施策として認識されている．その意味においては「循環型社会」に関連する研究が他の政策課題とも関わりをもつ可能性が示唆されており，環境研究領域において，一つのキーワード（ここでは「バイオマス」）を介した複合的研究の可能性，あるいは必要性が示されているともいえる.
2) 各研究に設定されているキーワードに着目し，循環型社会研究ネットワークを作成した結果，全体的にはある程度の広がりを持つ一つのネットワークを形成しているが，関係性の濃淡が存在することから，中心的な研究領域と周辺的な研究領域が存在することがわかった.
3) キーワード間の関係性を表すキーワード共起ネットワークを作成した結果，同ネットワークはより凝縮的なネットワークであることがわかり，また，中心的な研究領域を表す概念を特定することができた.
4) すなわち，キーワード共起ネットワークにて関係性の強い組合せを特定することで，「リサイクル」と「持続可能性」，「環境」に関連した研究が中心的な研究領域であることがわかった.

以上のような研究結果を明らかにしたものの，本研究においては，各研究課題の具体的な内容まで踏み込めておらず，あくまでもキーワードをベースとした考察に留まっており，研究領域の全貌を明らかにできているわけではない．さらに，本研究の調査対象はあくまでも科学研究費補助金に採択されたものであり，全ての循環型社会研究に一般化できるわけではない.

このようなことから今後は，より幅広い循環型社会研究を対象に，個別研究の専門領域や共同研究者の専門などのプロファイルを用い研究内容面にも踏み込むことで，詳細な研究領域の把握を目指すことと，キーワードの整理においてはオントロジーなどの知見を活用し，より厳密な定義および分類整理をおこなうことを目指す必要があると考えられる.

参考文献

1) 環境省編：「循環型社会白書」平成 15 年版，ぎょうせい，2003.
2) 松村真宏, 三浦麻子：人文・社会科学のためのテキストマイニング, 誠信書房, 2009.
3) Wouter, D. N. and Andrej M. , Vladimir, B.（安田雪監訳）：Pajek を活用した社会ネットワーク分析, 東京電機大学出版局, 2009.
4) 日本学術振興会：科学研究費補助金：http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/index.html.
5) 国立情報学研究所：科学研究費補助金データベース：http://seika.nii.ac.jp/.

INVESTIGATION OF KEY CONCEPTS IN THE STUDIES ON “SOUND MATERIAL-CYCLE SOCIETY” – APPLICATION OF NETWORK ANALYSIS

Michinori KIMURA, Keishiro HARA and Michinori UWASU

This paper investigates key concepts in the studies on “sound material-cycle society” to elucidate the characteristics and tendency of this particular research field. Specifically, focusing on the keywords used in the research field, we employ the network analysis method to build on two different types of network; the research network which assumes that studies are linked through the keywords in common, and the co-evolution network which is built upon the linkages of the keywords. We demonstrate that the studies on “sound material-cycle society” conducted in Japan form a concrete network and that “Recycling”, “Waste”, “the Environment”, and “Sustainability” are the main areas of the sound material-cycle society research field.