

# 生物規範工学における発想支援のための Keyword Explorer の評価

## An Evaluation of Keyword Explorer Tool for Idea Creation Support in Biomimetics

鳥村 匠<sup>1</sup> 古崎晃司<sup>1</sup> 來村徳信<sup>2</sup> 溝口理一郎<sup>3</sup> 駒谷和範<sup>1</sup>

Sho Torimura<sup>1</sup>, Kouji Kozaki<sup>1</sup>, Yoshinobu Kitamura<sup>2</sup>, Riichiro Mizoguchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>大阪大学産業科学研究所

<sup>1</sup>The Institute of Scientific and Industrial Research (ISIR), Osaka University

<sup>2</sup>立命館大学

<sup>2</sup>Ritsumeikan University

<sup>3</sup>北陸先端科学技術大学院大学

<sup>3</sup>Japan Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract:** We developed “Keyword Explorer” system by using Biomimetics ontology and evaluated the system through general user’s trial using. “Keyword Explorer” is for idea creation support by suggesting creatures which can be a hint for invention. And make users to find the creatures in Academic documents. In this paper we report results of trial use by general users in Biomimetics domain.

## 1. はじめに

生物規範工学は、生物の持つ様々な特徴に学び、工学的に優れた機能を持った製品を開発することを目標としている。その目標の達成のために、生物学者の持つ知識を工学者に提供し、社会的／工学的なニーズと生物学的な知識を組み合わせることが必要とされる。そのような工学と生物学の知識を適切に連携させるための基盤として、バイオミメティクス・データベースの開発が進められている[下村 10]。

バイオミメティクス・データベースにおいて、工学者が持つニーズに応じた生物学の知識を適切に提示するための知識体系として、生物規範工学オントロジー[古崎 15]の構築が進められている。生物規範工学オントロジーでは、生物や工学的機能などの概念と、それらの概念同士の関係について定義されている。そのオントロジーを、利用者の関心に応じて俯瞰的に探索することで、新たな発想のヒントにつながるキーワードの発見を支援することができる。オントロジー探索[廣田 09]技術に基づき、このような発想支援のためのキーワード発見の支援を目指し、筆者らが開発したツールが Keyword Explorer である。

本研究の目的は、オントロジーの探索によって発想のヒントになりうる生物などのキーワードを発見し、それに関連する論文などの外部のデータベースを検索することによって新発明の発想を助け、生物規範工学における“Workbench”を開発することである。Keyword Explorer はその Workbench の中心となる役割を担うツールである。

本発表では、生物規範工学分野に携わる一般企業の研究者らの協力を得て行った、Keyword Explorer の試用を通じた評価実験について報告する。

2 章では、生物規範工学オントロジーを用いて発想支援へとつながるキーワードを探索する Keyword Explorer について述べる。3 章では、一般企業のユーザーによる試用実験について述べる。4 章では試用実験の結果について考察する。

## 2. 生物規範工学オントロジーを用いた Keyword Explorer

### 2.1 生物規範工学オントロジー

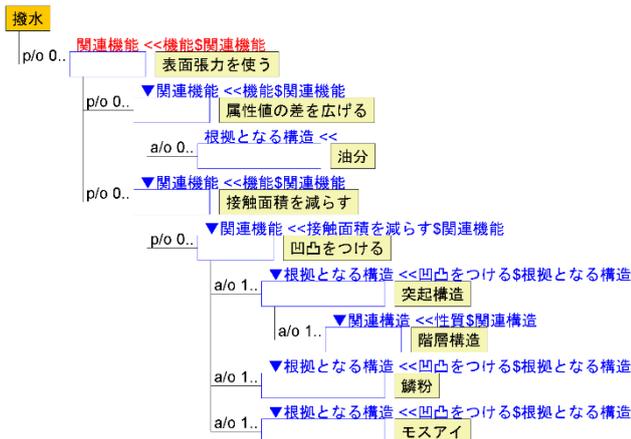


図 1 「撥水」ノードの機能分解の記述

生物規範工学オントロジーは、生物規範工学分野の文献、および、バイオメティクス・データベースの開発に携わっている生物学者から提供された、データベースに格納する生物に関する標本情報などを基に構築されている。主に用いた文献は、web サイト「ネイチャーテック研究会のすごい！自然のショールーム」<sup>1</sup>、および生物規範工学に関する専門書「昆虫ミメティクス」[下澤 08]などである。

オントロジーには、情報源に記載されている、生物が機能を実現している方法（機能実現方法）を中心に記述している。例えば、撥水機能の実現方法を記述した例を図 1 に示す。撥水ノードのスロットとして、「表面張力を使う」機能が関連機能（部分機能）として記述されている。さらにその部分機能として「属性値の差を広げる」機能と「接触面積を減らす」機能が記述されている。これはどちらかを達成すれば上位スロットの「表面張力を使う」を達成することが可能であることを示す。スロットでは他にも機能を発現させる「根拠となる構造」や、「生態環境」など、様々な関係がスロットを利用して記述されている。

他にも、オントロジーでは is-a 関係も記述されている。撥水ノードは機能ノードの下位概念として is-a 関係を用いて定義されている。

## 2.2 Keyword Explorer

オントロジー探索ツールは、オントロジー内でスロットの情報および、下位概念として記述された情報をたどり、概念間の関係を可視化したマップを生成しオントロジー全体を俯瞰可能にする。その際、特定の概念を連想のスタートとしてマップの中心として、その概念から順に記述された関係をたどり、

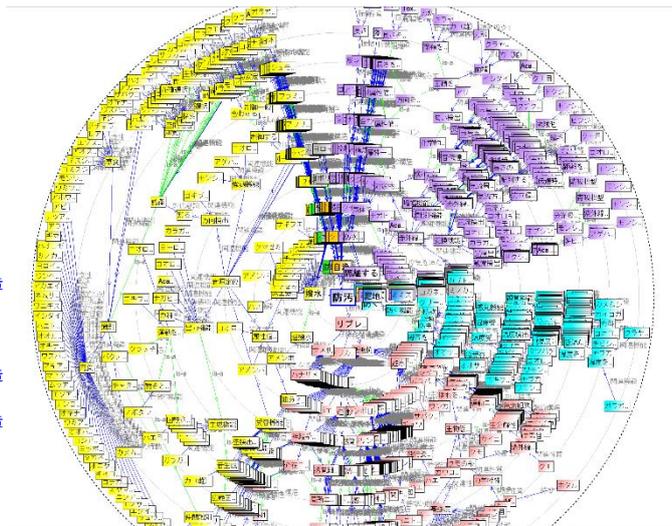


図 2 防汚が始点、生物が端点のマップ

マップの端点として指定した概念の下位概念に辿りついたら、そこで探索を終了する。例えば、生物規範工学オントロジーにおいて、「防汚」を始点、「生物」を端点として指定すると、前節で述べた機能と生物、達成機能と部分機能などの関係がたどられ、図 2 のようなマップが生成される。

その仕組みを応用し、外部データベースの検索機能などを付与したものが **Keyword Explorer** である。

以下にツールに搭載した機能の一部を紹介する。

- 「いいね」機能：興味を持ったキーワードとそこに至るまでのパス（概念のつながり）を記録できる。「いいね」されたパスはリストに列挙され、後から評価を行うことができる。
- パスの省略表示：マップ内の不必要と感じるパスを省略し、それ以外の部分を広い範囲で表示する機能を充実させた。
- 外部 DB 検索：google や google scholar, また CiNii などで概念をキーワードとして用いた検索を可能にした。ユーザーはこの機能を使い、概念間の繋がりの根拠や、細かな仕組みを発見することができ、発想への刺激を受けることができる。

## 3. 試用実験について

### 3.1 試用実験の概要

<sup>1</sup> <http://nature-sr.com/index.php>



図 3 パス内キーワードの組み合わせ評価画面

前章で述べた Keyword Explorer ツールを用いて、一般企業の生物規範工学的知識を有する研究者を対象に試用実験を行った。一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会(NBCI)バイオミメティクス分科会の方々にご協力いただいた。

セミナー形式での操作説明の後、ツールを2週間ほど自由に試用し、その上でツールの評価に関するアンケートへの回答、および、「いいね」機能を用いて評価した結果を保存したデータの提出を依頼した。なお、「いいね」機能を用いた評価したデータには、各企業の今後の新規開発に関する考えが反映される場合があるため、このデータの提出に関しては必須とはしなかった。

本試用実験の目的は、大きく2つある。1つ目が現状のオントロジーや Keyword Explorer ツールを通して、筆者ら以外の生物規範工学分野のユーザーが発想のヒントとなる生物を発見しうるかどうかの確認である。2つ目がさらなる発想支援を目指すならば何が必要になるのかの指針を得ることである。これにより、現在はオントロジー拡充者や、基にする情報源などの差により、オントロジーに含まれている、機能分解の段数など、さまざまな深度の記述が含まれている情報を、発想支援に有効な深度に統一する事なども可能になると考えられる。

### 3.2 試用実験の条件と集計するデータ

今回の試用実験においては、1章で述べたように「オントロジーを俯瞰したマップによる発想支援」という本研究の目標に沿って実験するために、オントロジーの記述自体は閲覧不可能にし、それを基に生成されるマップ画面のみを閲覧・操作することを

通した評価とした。

また、試用実験では Keyword Explorer でマップの中心(始点)として選択できる概念を、以下の4つの機能に限定した。

1. “防汚”
2. “低抵抗”：流体抵抗を減らす
3. “脱着”：接着したり離したりできる
4. “検出(センシング)”

これらは生物規範工学分野において、達成したい目標機能の代表例であり、現状の生物規範工学オントロジーにおいても記述量が多いものである。

また、マップの端点としては、「生物が持つ機能や構造を新規製品開発のヒントとする」ことが生物規範工学において目指されていることから、次の3種類の概念の下位概念を選択可能にした。

- I. 生物
- II. 構造&性質
- III. 機能

ただし、「機能」は Keyword Explorer ツールに搭載された、任意のノード(例えば、特定の生物)を始点として新しいマップを生成できる機能においてのみ意味をなす。試用に用いた4つの機能を始点とした場合は、意味をなさない。

このように試用実験では、始点4択、端点3択の合計12通りのマップを自由に生成、操作して発想のヒントとなるキーワードを発見し、データベースの検索に繋がるようにした。

試用実験において提出を求めた「いいね」評価について説明する。操作自体が「利用者が良いと思ったパスを保存する機能」であるため、該当ノードやそこに至るまでのパスは一定の評価を受けていると考えられる。さらに「いいね」したパスの詳細な評価を得るため、

1. ★ (一般的だが重要), ★★ (興味深い), ★★★ (発想のヒントになりうる) の3段階での評価
2. マップの始点から該当ノードに至るまでのパスが含むキーワードの一覧を表示し(図3)、その中から興味深いと思った組み合わせを選択
3. 「いいね」したパスについて、何が興味深かったのかなどの自由記述による評価

を依頼した。

また、試用後のアンケートは、web上のアンケートフォームもしくはメールでの回答を依頼した。アンケートの内容は、大きく分けて

1. マップに含まれる情報についての質問
2. ツールとしての機能面についての質問
3. 総合的に Keyword Explorer としての評価を求

める質問の3通りとした。それぞれについて、5段階の選択回答および自由記述での回答を依頼した。

#### 4. 評価結果の分析と考察

試用実験の結果はアンケートへの回答が14社(匿名1件含む)から19件、「いいね」の評価ファイルの提出は8件であった。一社から、複数人の回答があった企業も含まれているため、回答社数と評価データの件数に差がある。

アンケートと比較して、評価ファイルの提出数が少ないが、これは一般企業ユーザーによる試用であることも一因だと考えられる。企業ではセキュリティの為に外部にファイルを送信できないケースも多い。また、特に匿名での提出でない場合、評価ファイルから当人が何に関するキーワードを発見しようとしたのかが読み取れる。故に評価ファイルは提出せずにアンケートのみの回答となった試用ユーザーが多いと考えられる。

また、今回の試用ではインターネットを介してオントロジーのデータを読み込み、マップを生成する仕組みを用いたが、その仕組みのために、社内PCではKeyword Explorerが使用できず、自宅での使用しかできず、使用時間が少なかったという報告も多く受けた。

##### 4.1 「いいね」評価について

「いいね」の評価結果は、8人のユーザーから提出があり、合計で33個の「いいね」がついた。

表1が、「いいね」された時点での、マップの始点と端点の一覧の表である。ユーザーによって4種類の始点(機能)について全てについて「いいね」した人もいた。また、ひとつの始点についてのみ「いいね」しており、実際の発想支援の状況に近い使い方をしたユーザーもあった。マップの始点に関わらず、全ての始点からのマップが「いいね」を含んでいる。すなわち、今回の試用実験における4つの始

表1 マップの始点(行)と端点(行)毎の「いいね」の数の集計

	生物	構造&性質	機能	合計
防汚	6	0	2	8
低抵抗	1	5	0	6
脱着	5	1	0	6
検出(センシング)	12	1	0	13
合計	24	7	2	33

点からの全てのマップに、ユーザーにとって興味深いと思われる内容は含まれており、それを発見できるかが重要になるといえる。

★の数の内わけは、最高評価の3つ星が5つ、2つ星が10つ、1つ星が5つであった。「いいね」されたノードの中には星による3段階の評価が行われていないものが13つ含まれていた。これは同一ユーザーが3段階評価を行っていない場合が多く、8人中2人は3段階評価をしていないものを含み、2人は全ての「いいね」に対して3段階評価をしていなかった。これは、3段階評価が必須にしなかったために、操作を行わなかったと考えられる。しかし、「いいね」されている事から考えて、これらのパスは必ずしも1つ星以下の低評価というわけではないといえる。

次に、「いいね」された概念の種類に関して議論する。ここで、概念の種類とは該当ノードの上位概念によって判定した。「いいね」された概念の種類と、その「いいね」の数を集計した結果を下記に示す。

- 生物 : 22
- 機能 : 5
- 性質 : 3
- 構造 : 2
- 現象 : 1

生物規範工学においては、模倣対象とする生物を見つけることが重要であるため、生物が「いいね」されているケースが多い。それ以外に機能などが「いいね」されているのは、機能同士などの意外な関係やユーザーに重要な関係だと思われたものが多いと思われる。

##### 4.1.1 同名概念と「いいね」の関係

次にマップ内に同名のノードが含まれている数と「いいね」されたノードの関係について議論する。オントロジーに記述された各ノードは、複数スロットで他のノードに関係が定義されている。マップでも、一度も辿っていない関係は辿ってマップに表示されるため、マップには複数の同名ノードが含まれることがある。ノードの組み合わせと辿った関係



図4 同名ノードがマップに含まれる数の差

のどちらも同じものがマップに含まれる場合は、それ以降は同じ関係がマップに表示されない。

図4が「カタツムリ」「ナナカマド」「リブレット構造」の3種類の同名ノードに至るパス以外を省略したマップである。「防汚」を始点としたマップには赤色でハイライトした、「カタツムリ」ノードが5つ、青色でハイライトした「ナナカマド」ノードは1つのみ、緑色でハイライトした「リブレット構造」ノードも1つのみ含まれている。「リブレット構造」は始点の「防汚」ノードから1段のリンクで辿り着いており、こういった概念はマップに1つのノードしか含まれていないことが多い。図4内で、★の目印をつけたものが「いいね」されていたノードである。

「いいね」されたノードと同じ概念がマップ内に含まれる数について集計を行った結果が表2である。このように、マップ内に1箇所では表示されなかったノードが「いいね」されているケースが多いということがわかる。1箇所では表示されないノードには2種類考えられる。

1種類目がマップの始点から少ない段数のノードが「いいね」された場合である。(防汚→撥水など)この場合は探索アルゴリズムの“各ノードから関係が定義されているもの全てに関係を辿る。ノードの組み合わせと関係が同じものが既にマップに含まれる場合はマップに表示されない”というルールに従うため、マップ内の他の箇所には同じ概念が現れない。表中同名ノード数が1の13つの「いいね」のう

ち、マップの始点から2段階目のものが2つ、3段階目のものが4つであった。これらはマップの始点にしている「目標とする機能」からすぐに連想される機能である。したがって、各機能ノードに多くのスロットが付与されて、その機能と関連する概念を付け加えることがこの「いいね」に繋がっていると考えられる。

2種類目が、オントロジーへの記述量が少ない場合である。これは情報源にも記述されている内容が少ない、すなわちユーザーも知り得ないことが多い情報が記述されていると考えられる。あるいはその概念が生物規範工学では頻出ではなく、その概念が出現した事が面白いと思われた可能性もある。逆に、多くの同名概念が含まれていた例からは、なぜそのノードが選択されたのかを考察することが今後の課題として挙げられる。モンシロチョウは同名概念が31個の「いいね」されたキーワードであったが、その中でもそのモンシロチョウに至るまでのノードの何が興味深かったのかを分析する必要がある。

#### 4.1.2 マップの出現場所と「いいね」の関係

次に、マップの始点(中心)から、何段のリンクを辿って表示されるノードが「いいね」されているのかを比較する。

図5が、4段階までの「防汚」を始点としたマップの例である。始点の「防汚」を1段階目として、オントロジーに記述された関係を1段階目ごとに、マップでは外側にノードが配置されている。

表2 同名概念数と「いいね」の数の比較

同名概念数	いいね
1	13
2	3
3	2
4	4
5	3
6	1
8	2
16	1
17	1
21	1
22	1
31	1

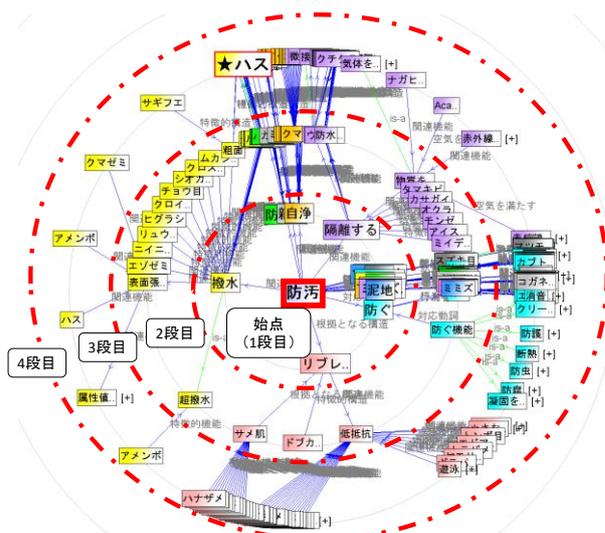


図5 4段階までの「防汚」のマップ

表 3 始点からの段数と「いいね」の数の比較

マップ始点からの段数	「いいね」された数
2	3
3	7
4	9
5	7
6	2
7	1
8	4

表 3 がマップの始点からの段数と「いいね」されたノードの数を比較する表である。マップには 12 段目までの内容が表示されているが、最低で 2 段目（中心から 1 度のリンクで表示）から、最高で 8 段目までのノードが「いいね」されていた。

中でも、特に 3 段目から 5 段目のノードが「いいね」されているケースが多い。中でも 4 段目で「いいね」されているノードが最も多かった。これらは 9 つすべてが中心の機能（およびその部分機能）を達成している生物>としてオントロジーに記述し、それがマップに表示されたものであった。

（例：低抵抗→小さな渦をつくる→凹凸をつける→ザトウクジラなど）

このことから、ユーザーの知らなかった目標機能や、その部分機能を達成する生物の情報が今回の試用実験では評価を得たといえる。

続いて、複数の「いいね」されたパスでの始点からの重なりを比較する。合計 33 つの「いいね」のうち、同一ユーザーによる「いいね」に関しては、最大で 6 段目まで同じノードを辿ったパスがあった。しかし、別のユーザーによる「いいね」には、最大で 2 段目までしか同じノードを辿ったパスが含まれなかった。

このことから、ユーザーによってマップ内のどの部分を見るかが違うということがわかる。マップの配置的に、同じノードを辿って連想されたキーワードは近い部分に表示されるため、各ユーザーがそれぞれに興味のある部分において、面白いと思うキーワード探索を行えたことが示唆される。

#### 4.1.3 パス内のキーワードの組み合わせ

3 章で述べたように、「いいね」されたキーワードに至るまでのパスのうち、任意で興味深いと思ったキーワード同士の組み合わせを選択し、記録できる

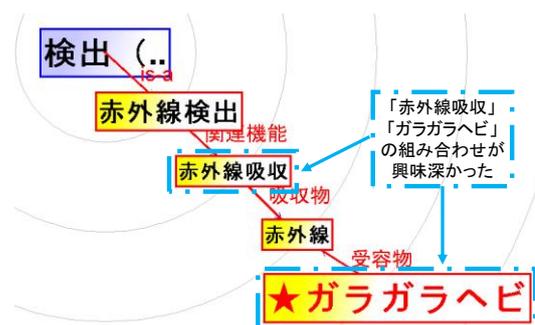


図 6 「いいね」されたガラガラヘビのパス

ようにして提出を依頼した。この評価に関して、前述の 8 人のユーザーのうち、4 人のユーザーから 8 組の結果の提出があった。これらは最大で 2 つのキーワードの組み合わせしか含んでいなかった。

4 人中 3 人は“機能と生物”の組み合わせに興味深かったとの回答があった。例えば、あるユーザーは「ガラガラヘビ」と「赤外線吸収」にチェックをつけており、「ピット器官の構造、感知できる温度差、など興味深い」とのコメントがあった。この例からは、その組み合わせで外部 DB 検索を行った結果、興味深い内容が表示され、それが評価されたといえる。

図 6 が上記の「いいね」されたガラガラヘビに至るパスである。ガラガラヘビに至るまでに始点も含めて 5 つのキーワードを辿っているが、青破線で囲んだように、「ガラガラヘビと赤外線吸収」の組み合わせが興味深いとユーザーに思われた。

今回のこの結果から、生物と機能を結び付ける記述がユーザーの発想のヒントとなる情報をもたらしやすいといえる。

## 4.2 アンケート評価について

アンケートでは、大まかにマップに表示される内容、Keyword Explorer ツールの機能について、総合

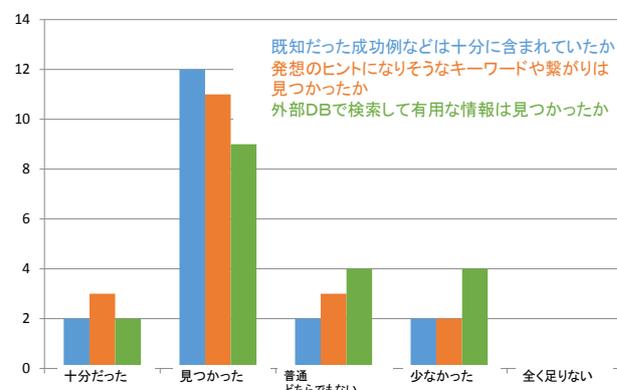


図 7 コンテンツに関するアンケート結果

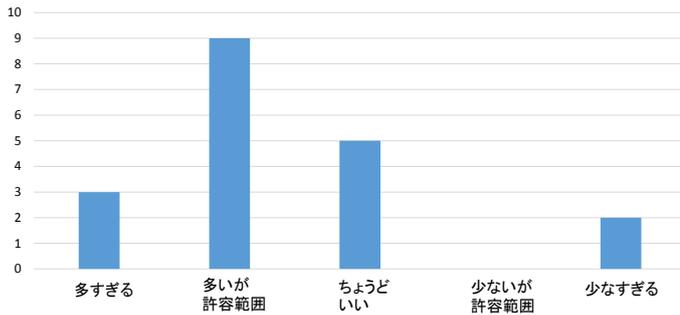


図 8 マップに含まれるノードの量に関するアンケート結果

的な評価の 3 種類に関して評価項目を設定した。

図 7 がマップに表示された内容に関する設問への回答をまとめたグラフである。ここでは、

- ・“既にご存知だった生物規範工学の成功例などは十分に含まれていましたか？ (青)”
- ・“発想のヒントになりそうなキーワード間の繋がりや有用なキーワードが見つかりましたか？ (橙)”
- ・“外部 DB で検索して、実際に有用な情報は見つかりましたか？ (緑)”

の 3 つのコンテンツに関する設問を設けた。これらの回答はいずれも同じような比率で、概ね高評価を得られたといえる。

また、“マップの中には見当たらなかったけど、このキーワード間には関係が定義されていた方が良かったらという例がありましたらお願いします。”という自由記述で回答する設問に関しては、19 人のアンケート提出者のうち、3 件の回答しかなく、これも今回の試用においては、ユーザーの求める典型的な事例に関する情報について、大きな不足は無かったことを示唆するものと思われる。

図 8 がマップに含まれるノードの量に関する“マップに含まれるノード (キーワード) の量はい

かがでしたか？”という設問への回答分布である。全体的には、ユーザーはノードの数が多いと感じる傾向があるが、“多いが許容範囲”“ちょうどいい”と答えたユーザーが 19 人中 14 人であった。この点は、ツールが提供する不要なパスを非表示にする機能が適切に利用されていたことに依るものと思われる。また逆にいうと、これ以上マップ内のノードの数が増加するとユーザーにとっては多すぎると感じられるという懸念がある。

一方、2 人のユーザーは少なすぎると答えており、そのうち 1 名から「視覚的には多いが、発想支援のためには少なすぎる、全体を把握できるようにツールの機能を工夫する必要がある」というようなコメントを得た。さらなる発想支援を目指すには、マップに含まれる有用な情報を増やす必要があるが、そのためには、以下の 2 つのどちらかが必要になる。まず、Keyword Explorer の操作性を向上させて、大量のノードの可視性を上げる。もうひとつ考えられるのは、マップに含まれる中で、まったくユーザーが必要としない情報を除くことである。

図 9 は、ツールの機能に関する設問

- ・“ノードの大きさ変更、色の変更などの視覚的な機能はいかがでしたか？ (青)”
- ・“マップ内の表示されたノード (キーワード) の量調整機能についてはいかがでしたか？ (橙)”

への回答をまとめたものである。これは、意見がわかれており、改善の余地は十分にあるといえる。具体的にツールに関する要望としては、多言語対応、画像 DB とのリンク機能、生物規範工学でその生物が使われている事例への直接的なリンクなどが挙げられた。

最後に、今回の試用実験を通して Keyword Explorer に関する総合的な項目について議論する。図 10

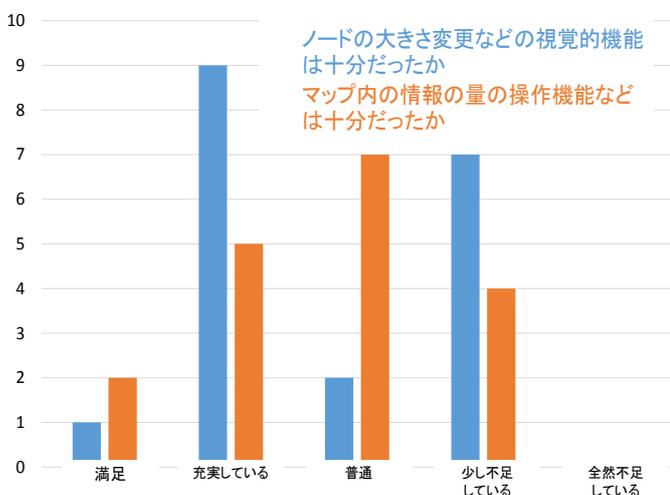


図 9 ツールに関するアンケート結果

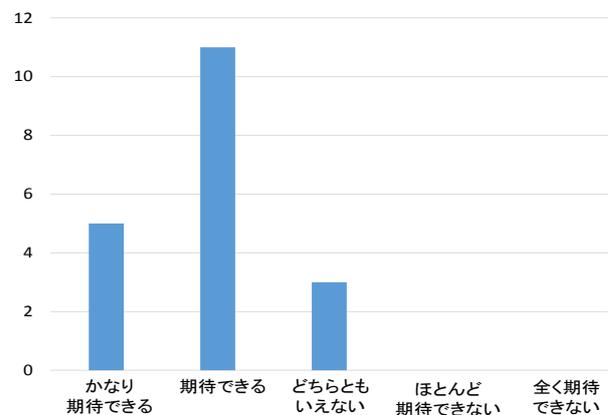


図 10 Keyword Explorer のようなツールで発想のヒントを発見することができそうかに関するアンケート結果

が“今回のようにマップツールを使うことで、実際の製品開発に役立つ発想のヒントとなるような有用な情報を発見することができそうですか？”という設問に関する回答の分布である。全員が肯定的な回答か、あるいはどちらともいえないという回答をしており、否定的な意見はなかった。また、“もしツールとそれを利用したマップが改善されたら利用してみたいですか？”という設問に対しては、全員が「はい」と回答しており、生物規範工学分野の研究・開発系の企業ユーザーからは今回のような発想のヒントを提供する試みが期待を受けているといえる。

## 5. まとめと今後の展望

今回の試用実験より得られた知見についてまとめる。

「いいね」評価より、今後オントロジーに記述を行う際に、生物が機能を達成する仕組みについて、珍しい生物など、網羅的な記述が重要になるといえる。ユーザーが知らなかった生物の機能実現方法を提供することで発想支援を行うという、本研究の効果を再確認できた。

アンケートからは、現状の Keyword Explorer でも発想のヒントとなるキーワードを提示することは可能だが、ツールの機能については改善が望まれるということがわかった。現在は、英語版製作や、企業のPC環境でも動作可能な状態にするなどの対応がとられており、試用に協力したユーザーには再度提供されている。

今後の研究の展望としては、Keyword Explorer ツールをさらにユーザーにとって使いやすいものに改善するとともに、オントロジーに記述する内容のガイドライン化が考えられる。

知識共有をより効率的にするために、生物学者からの情報提供を求める際に、どのような情報が生物規範工学的に有用かを示すことが望まれる。それが叶えば、生物学者の知識をより効率的に企業ユーザーなどに提供することができるようになると考えられる。

今回の試用の中でも「いいね」されたパスについてマップ内の他のパスと比較することなどで、どのような情報がよりユーザーの発想を刺激することが可能かを考えることができると考えられる。それをもとに、筆者がかつて考案したガイドライン[鳥村15]をさらにバージョンアップしていく。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 24120002 の助成による。また、お忙しい中、試用実験に協力していただいた、NBCI バイオミメティクス分科会の皆様に感謝いた

します。

## 参考文献

- [下村 10] 下村政嗣: 生物の多様性に学ぶ新時代 バイオミメティック材料技術の新潮流, 科学技術動向, Vol.110, pp9-28, 2010.
- [古崎 15] 古崎晃司, 來村徳信, 溝口理一郎: 生物規範工学オントロジーと Linked Data に基づくキーワード探索, 人工知能学会論文誌 31 巻 1 号, SP1-D, 2016.
- [廣田 09] 廣田健, 古崎晃司, 齋藤修, 溝口理一郎: ドメイン知識俯瞰のためのオントロジー探索ツールの開発, 第 23 回人工知能学会全国大会, 2I3-2, 2009.
- [下澤 08] 下澤楯夫, 針山孝彦: 昆虫ミメティックスー昆虫の設計に学ぶ (Advanced Biomimetics Series) :NTS, 2008
- [鳥村 15] 鳥村匠, 來村徳信, 古崎晃司, 溝口理一郎, 駒谷和範: 生物の機能実現方法に基づく発想支援のためのオントロジー構築とガイドラインの提案, 第 29 回人工知能学会全国大会, 2M1-5, 2015.