

# メタ認知を促進するツールとしての 属性付き KeyGraph 分析

伊藤貴一<sup>\*1</sup> 諏訪正樹<sup>\*1</sup> 大澤幸生<sup>\*2</sup>  
Takaichi Ito Masaki Suwa Yukio Ohsawa

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学

Keio University

<sup>\*2</sup> 東京大学

The University of Tokyo

Abstract: Past literature indicated that meta-cognition is effective for acquisition of embodied skills. Reflecting on at later times what one has meta-cognitively verbalized and accumulated is a “must-do” thing in a meta-cognitive custom. Keygraph, a data-mining technology Ohsawa has devised, could be potentially used for that purpose. However, the original Keygraph is not necessarily suitable for easy visualization of comparison among periods, especially visualization of how a user’s meta-cognition has changed. We have devised a feature-attached Keygraph; which nodes and links are frequent and strong, and how it changes over different periods are visualized and easily interpretable by users. We have applied this tool to the meta-cognition of a baseball player. By looking into the change of structure of nodes and links in the feature-attached Keygraph, we found it possible to interpret how meta-cognition has changed over half a year during which his batting average has drastically changed.

## 1.はじめに

[諏訪 2005]の中で、身体知獲得するために、メタ認知していることを頑張って言葉にすることの有用性が説かれている。メタ認知とは、自分の認知していることを認知することである。身体知獲得においてメタ認知は、言語化しにくい身体の暗黙知をできるだけ言語にすることで、一度、環境と身体の関係を壊し、それを再構築することである。

しかし、論文の中で書かれているように、メタ認知を継続的に続けるのは難しい。人間

は日々の生活の中で、認知をし続けている。しかし、認知したものはすぐ忘れてしまうため、文字として書き留めておかないと消えてしまう。メタ認知をするためには、文章として外部に書き留めておくことが必要である。

また、書き溜めるだけではもったいない(効果が少ない)。今まで書き溜めたものを振り返る、反省のフェーズが必要である。メタ認知を再度振り返ることもまたメタ認知である。メタ認知したことを再度認知して外化することも含めてここでは「メタ認知」と称している。

過去に書いた文章から、環境と身体の関係  
を振り返ることで、好調の時と不調の時とを  
比べることで自分の頭の中が徐々に整理され、  
さらなるメタ認知につながっていくはずであ  
る。

このようなメタ認知の研究のためには長期に  
わたるメタ認知の記述を蓄積し、瞬時に分析  
するツールが必要である。ここで敢えて「瞬  
時に」が重要であることを強調しておく。瞬  
時に分析できるような環境が整っていないと、  
気軽に過去のメタ認知を振り返る習慣が生ま  
れないからである。本論では、メタ認知を書  
き留め、更に過去のメタ認知を振り返り外化  
する習慣をつけるためのツールを開発したこ  
と、及びそのツール（特に属性付きキーグラ  
フ）を使ってメタ認知の変容の様を可視化す  
ることの有用性や解釈について論じる。

## 2. 認知の言語化の蓄積・メタ認知 の俯瞰ツール

### 2.1 ツールの目標と目的：ブログベー ス

このツールの目標は、自分が認知していっ  
たことを書いていく中で、簡単に過去の自分  
を振り返られるようにする（メタ認知）こ  
とである。メタ認知を記述していくプラットフ  
ォームとして、既存のブログサービス（はて  
なダイアリー）を利用した。ブログを利用し  
たのは、多くの種類の端末からどこにいても  
書き込めるからであり、ブログがネット上に  
公開されているという点を利用したいからで  
はない。現に今回扱うデータは、プライベート  
モードであり、公開されていない。

メタ認知を書き込むことと、書き溜めたメ  
タ認知を振り返ることをシームレスに繋ぎ、

日々のメタ認知を活性化することを狙うが故  
に、ブログベースのツールを開発したのであ  
る。このツールを使えば、メタ認知日記を書  
き込むそばから、日記データを取り込んで形  
態素解析をし、KeyGraph（次章で説明する）  
の分析結果を見ることができる。イントロダ  
クションで「瞬時分析」の意味を述べたが、  
処理は一分以内に終了する。

### 2.2 KeyGraph

テキストマイニング手法として、KeyGraph[大  
澤 2003]を使う。KeyGraph は言葉と言葉の関  
係を可視化し、さらに、低頻度の重要な言葉  
を抽出し、図示することができる。KeyGraph  
を使うことで、地の文から離れ、鳥瞰的に文  
章の構造を見ることができる。そのため、通  
常の文章にしたとは違う“メタ”認知をする  
ことができる。

### 2.3 ツールの主な機能

ツールの機能をまとめると、1. WEB ブラ  
ウザ機能 2. KeyGraph 機能 3. ログの収集機  
能の三つである。Web ブラウザ機能はブログ  
に書き込めるようにするためであり、現在見  
ているブログを元に即時に KeyGraph にする  
ことが出来る。

KeyGraph 画面[図 1]では、下のタブでパラ  
メータの調整などのいくつかの操作が可能で  
ある。後述する属性付き KeyGraph も下のタブ  
から可能である。ログの収集機能[図 2]では、  
過去の日記を取得し、一覧表示をする。  
KeyGraph にしたい日記を指定できる。

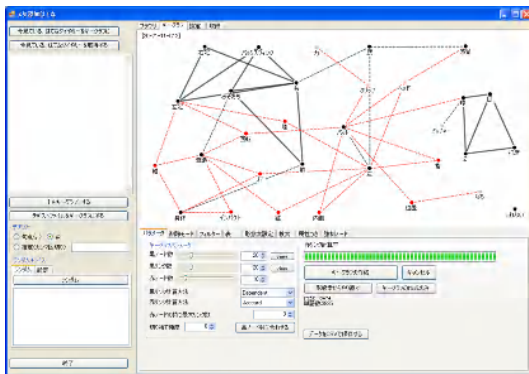


図 1 ツールの KeyGraph 画面

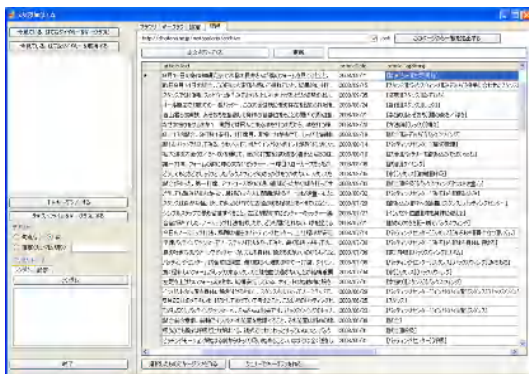


図 2 ツールのログの収集機能

このようにしたことで、従来の KeyGraph ツールとは違い、データを生成し、形態素分析をし、アルゴリズムにかけ、可視化するという手間の掛かる一連の処理をボタン一回押せばすぐにできるようになっている。そのため、KeyGraph をメタ認知のために用いる障壁が下がっている。

### 3.メタ認知の変容の様を可視化する属性付き KeyGraph

通常 KeyGraph では、一つのデータセットを順序・属性の情報などを無視して、関係を取得する。そのため、「変化」「差分」というものがわからない。変化を可視化する KeyGraph として、従来手法として紙芝居 KeyGraph があり、新手法として属性付き KeyGraph がある。

### 3.1 紙芝居 KeyGraph

紙芝居 KeyGraph [大澤 2006] は、複数の KeyGraph を重ね合わせて見てみたい、という要望から生まれたものである。単純に、複数の KeyGraph の同じ言葉のノードは同じ場所に配置し、すべてのリンク関係を用いてバネモデルによる配置の算出をするという手法である。それぞれ別の条件で作ったデータを元に KeyGraph を作成することで、構造的変化・差異を発見することが出来る。しかし、あくまで構造的な変化であるので、明確な構造的な差異が存在しないと、違いがよくわからない。差異が小さいと細かい言葉遣いの差ばかりが目立ってしまう。本論文で使用したドメインは後述するように身体運動に関するメタ認知である。身体動作の分析の場合、使用される語彙が限定されるため、言葉のレベルでは大きな差は発生しづらい。そのため、本論文では紙芝居 KeyGraph は使用しなかった。

### 3.2 属性付き KeyGraph

属性付き KeyGraph [伊藤 2008] は、元々アンケートなどの自由回答文と、回答者属性をクロスして分析したいという発想から作ったものである。文章に属性をつけたデータを用意し、通常 KeyGraph を作成する。そして、ノードの中に属性ごとの頻度の割合を円グラフで書き込み、属性ごとに集計した関係性の強い上位の関係を線（リンク）で円グラフと同じ色で描画する。それによって、量的な変化とリンク構造の変化を可視化する。ここでいう属性とは、文章に付随するものであり、たとえば、文章を書いた人の性別・年齢・ポジションや、書いた日付などであり、文字列として扱う。

本論文では、日付を属性とし、分析対象の

すべての文章の日付を2つまたは3つの期間に分類したものを上位概念の属性とし、可視化する。そうすることで、複数の時間的変化の量的変化を可視化することができる。

各期間（2つもしくは3つ）において関係性の強い上位リンクは、全期間のキーグラフ構造の上に色で表示するという手法を採用した。これにより、各期間の特徴を際立たせ、更に期間同士の比較（メタ認知がどのように変容しているか）を理解しやすくする。4.2節で例を詳細に論じる。

一度に多くの上位リンクを可視化すると、情報量が多すぎて、解釈ができない（する意図が削がれる）。そこでリンク数1（「最上位の関係リンクだけを表示する」ことに相当する）から少しずつ数を増やし（「上位リンクから次第に下位へ」に相当）ながら可視化する仕組みを作成した。このツールの目的はメタ認知を行うユーザーに、自分のメタ認知を振り返って更に「考え」させることにある。ユーザーが少しずつリンク数を操作しながら時期比較（メタ認知がどのように変容して来たか）を解釈できる機能は非常に重要である。また、属性毎に表示の ON/OFF を実装し、属性数、リンク数が増えすぎたときにも見やすくした。

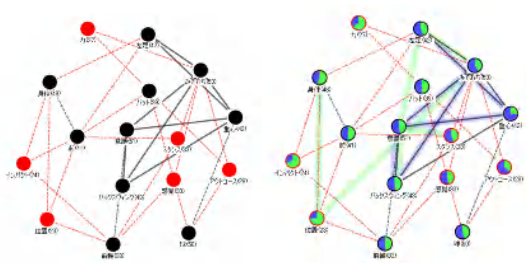


図3 (左) 通常の KeyGraph (右) 属性付き KeyGraph  
このツールの機能をまとめると次のようになる。

1. 文章に書いた人の性別・年齢・ポジションや、書いた日付などの属性を付与したデータを用意する。日付などの連続値の場合は2つ3つに分けて纏めたものを上位の属性とする。
2. まずは通常の KeyGraph を作る。
3. 各ノードの中に属性ごとの頻度の割合を円グラフとして書き込む
4. 表示している KeyGraph に含まれるノードの中から、各属性ごとにまとめた共起関係算出し、それを元に、リンクを指定個数描く。情報の多さを克服するために
  - ① リンク数1から徐々に見せる仕組みを実装した。
  - ② 属性毎の表示の ON/OFF を実装した。

## 4.分析と解釈

分析対象として、第2著者が野球のバッティングについて書き溜めたメタ認知の記録を使用する。被験者（第2著者）はそれまで打率1割台のスランプだったのを脱出し、2008年夏に5割台にもいくほど成績が伸びた[図4]。この間に書かれたブログの記事数の合計は44日分の日記である[表1]。被験者はこの期間、フォームの改造を試みていた。この分析をする。

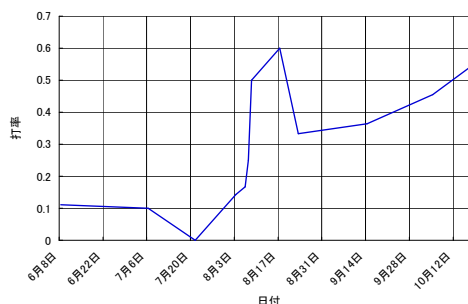


図4 2008年夏の被験者の打率の推移

年	月	記事数
2008	5	10
2008	6	5
2008	7	9
2008	8	10
2008	9	3
2008	10	3
2008	11	4

表 1 : ブログの記事数

#### 4.1 二分割で分析する

日付を属性として、二つに分割し、上位の属性を「5月3日～7月21日（前期）」と「7月27日～11月29日（後期）」した分析である。これは打率が低迷していたときと、打率が伸び始めてきたときの比較である。黒ノード数20、黒リンク数20、赤ノード数10、リンク指標は Jaccard で作成した。通常の KeyGraph[図5]と属性付き KeyGraph[図6]である。円グラフの緑が前期、青が後期である。ノードの配置は、割合を元にソートし配置し、バネモデルで計算している。そのため、左から前期の割合が大きいもの順になっている。前期・後期と言う情報を付加したため、割合の違いという意味がノード（言葉）に付与された。

単純に高頻度の語の黒ノードで割合に偏りがあるものを取り出すと、前期は「位置」「インパクト」「身体」「力」であり、後期は「つまさき」「重心」「みぞおち」「アウトコース」である。これだけ見ても、位置や身体そしてインパクトに意識が向いていたものから、重心、つまさき、みぞおちという身体と力の具体的ところに意識が変化していることが見えてくる。従来のキーグラフ[図5]ではそういった変化を可視化はしてくれない。

さらに、前期・後期別々で集計したリンク

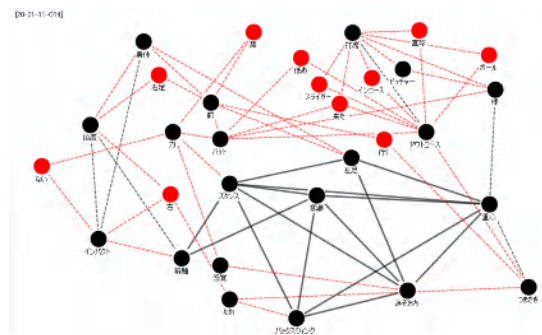


図 5 通常の KeyGraph

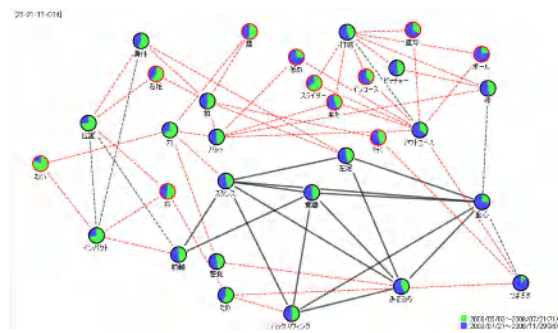


図 6 属性付き KeyGraph

の上位 10 個を付加したものが [図7]である。

前期で、リンクを多く持つノードは「位置」「みぞおち」「意識」であり、後期では、同様に、「重心」「みぞおち」「意識」「ボックスウイング」である。共通にもつ「意識」であっても、前期では「位置とみぞおち」への意識であり、後者は「重心、みぞおち、ボックスウイング」である。

#### 4.2 上位リンクが黒リンク上にはないケースの解釈

後期の上位リンク（青の太線）は大方、全時期での黒リンクになっているものばかりである。一方、前期の上位リンクは、全時期での黒リンクではないものが多い。そもそも、黒リンクが発生するのは、データ全体で関係性が強いものである。指標は Jaccard ( $A \cap B / A \cup B$ ) を使っているため、A と B の頻度の差が小さくて（ともに大きくて）共起関係が強



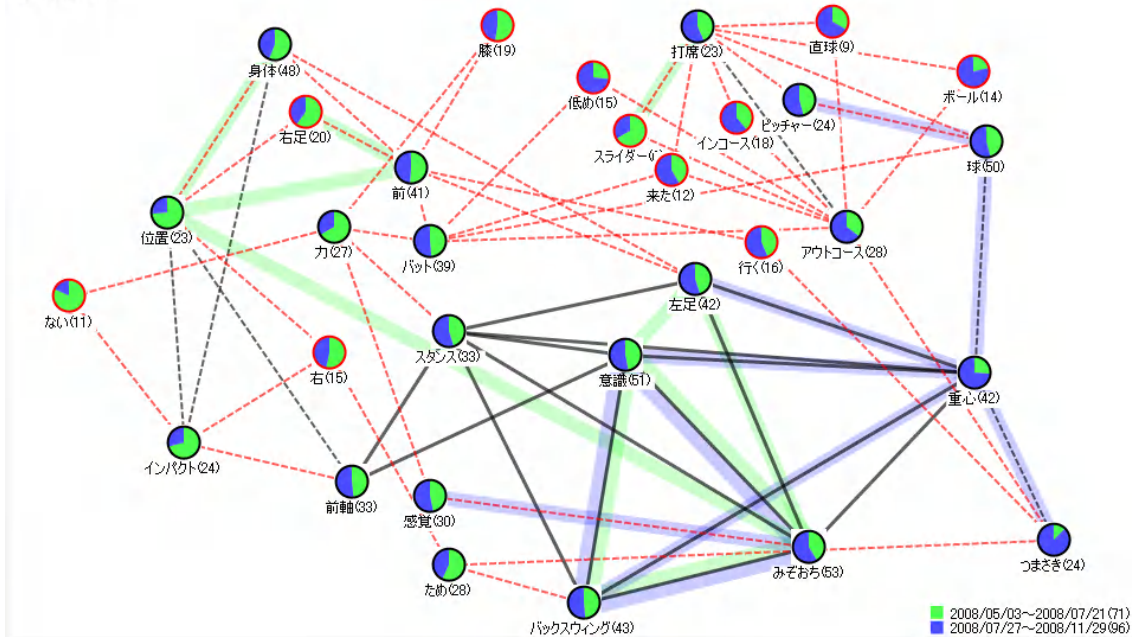


図 7 二分割で各属性に上位 10 個のリンクを描画させた属性付き KeyGraph

いものの評価が高くなる。そのため、当たり前のような関係を指し示すことが多い。つまり、黒リンクは前期・後期合わせた形での被験者の頭の中にある「常識的」な構造である。したがって、前期（もしくは後期）の上位リンクが黒リンク上にないケースとは、全時期に頻度が高かった思考とは異なることをその時期には考えていたことを意味する。前期にそれが現れた場合、前期にはそのリンク（ノード間の関係性）を強く考えていたが、後に棄却されたことを意味する。後期にそれが現れた場合、それまでには考えていなかったような新たな関係性に気付き始めていることを意味する。そういう観点でみると、「位置-みぞおち」「位置-前」「意識-左足」という関係は前期には頻繁に考えていたがその後被験者の中で捨てられたものである。一方、後期は、すべてが黒リンク、赤リンク（同じ指標を使っているので準黒リンクといえる）の上にある。

まとめると、被験者のメタ認知は、前期に

強く意識していた「位置」周辺などの関係（「黒リンクではない箇所に緑リンク」という関係を後期には捨て去り、前期にも頭の片隅にあった関係（即ち「黒 or 赤リンク上に青リンク」）の一部に意識が集中してきた、つまり、意識を再構築し、身体の動かし方に関する意識が統合されて来たといえるだろう。

それは、青リンクと緑リンクの構造の違いも見て解釈できる。注目すべきは多角形リンクである。上位リンクが多角形を為すということは、まさに該当ノードとノード間の共起関係が被験者の意識を占有していること（収束）を意味する。つまりそれだけ思考がまとまりを見せて来ていることの証拠である。前期と後期に共通する三角形がある。「みぞおち-バックスウィング-意識」である。これは前期間を通して意識を占有していた関係性である。後期は、それ以外に、「バックスウィング-意識-重心」という三角形が存在し、しかもそれは「みぞおち-バックスウィング-意識」と互いに 2 つのノードを共有している。つまり三

角形同士の関連性が強い。それに対して前期のもう一つの三角形は「左足-意識-みぞおち」であり、同じく「みぞおち-バックスウィング-意識」と2つのノードを共有しているが、一辺「左足-意識」はその後捨てられる関係性である。

放射状リンクにも注目しよう。前期の緑リンクは「位置」と「みぞおち」を中心に放射状に延びている。「位置」から延びるリンクのほとんどは後には捨て去られる関係性である。放射状リンクは、何か中心的なノードから、様々な変数への関係性を広げている状態（発散）を指すと解釈できる。後には捨てられた関係性が放射状リンクの一部を為しているということは、それは一時的な意識拡大であり結局は意識の根幹的な統合には関与しなかったということである。それに対して、後期の青リンクは、「重心」と「みぞおち」から放射状に延びるリンクが存在する。いずれも赤、黒リンク上の青リンクである。これを見ても、後期にはメタ認知の意識が収束に向かったことが現れている。

以上論じたように、時期ごとのリンクの位置や構造を比較することにより、被験者の意識は発散のフェーズから収束のフェーズに移行したと解釈することができる。8月以降（上の分析では後期に合致する）の成績がスランプを脱却して5割以上の打率を保ったという事実が、言葉の分析ではこのような形で現れているのである。

### 4.3 三分割で分析する。

同じデータを元に、日付を属性として、三つに分割して分析をする。分割の切れ目は、6月の下旬、8月の中旬である。2番目の（中間の）時期は、被験者の成績は低迷する時期

であり、その後の成績が伸びる前の時期でもあり、いわばスランプ脱却期であるといえる。一度に三種の関係を可視化すると情報量が多いため、前期・中期のペア[図8]、中期・後期のペア[図9]で描画したものを提示する。

前期・中期に注目する [図8]。前期は、二分割の時でも述べたように関係に纏まりがなく、後に捨てられる関係性（緑リンクのみ）をいろいろと考えていたこと、発散的に考えていたことが伺える。中期は、前期と比べれば割と考えがまとまり始めている。しかし、青リンクが必ずしも黒リンクに沿っているわけでもない。三角形構造も、「左足—みぞおち—意識」に唯一見られるが、その一辺「左足—意識」はその後捨てられる。「打席-ボール-直球」という、他の青リンクとは結合されない単独の意識（試合での出来事）が念頭にあるようだ。

中期・後期の比較をしよう[図9]。「重心-左足-スタンス-意識-バックスウィング-みぞおち」から作られる黒リンクの多角形構造を見て欲しい。中期には、「バックスウィング」は「みぞおち」としか関係しない（青リンク）。しかし後期には、「みぞおち」「重心」「バックスウィング」「意識」の4つのノードの間に4つの三角形構造がいずれも橙リンクになっている。ひとつ特記すれば、「重心-みぞおち」という関係は中期には「左足」介して遠回りに考えていたのに対し、後期には「重心-みぞおち」という直接の強い関係性を持ち出したと考えられる。いろんなものがいろんなものにつながるという構造が理論構築の証拠ではないかという仮説を4.2節で述べたが、3分割の比較では、特にその傾向が見て取れる。

[20-21-11-C14]

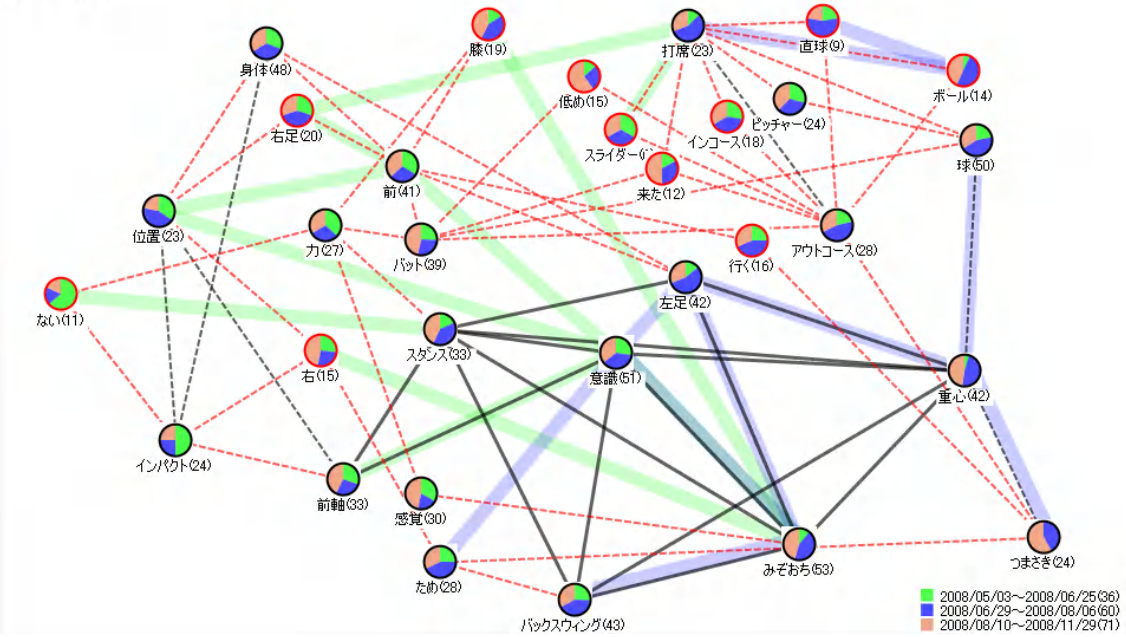


図 8 三分割で前期、中期を描画した属性付き KeyGraph

[20-21-11-C14]

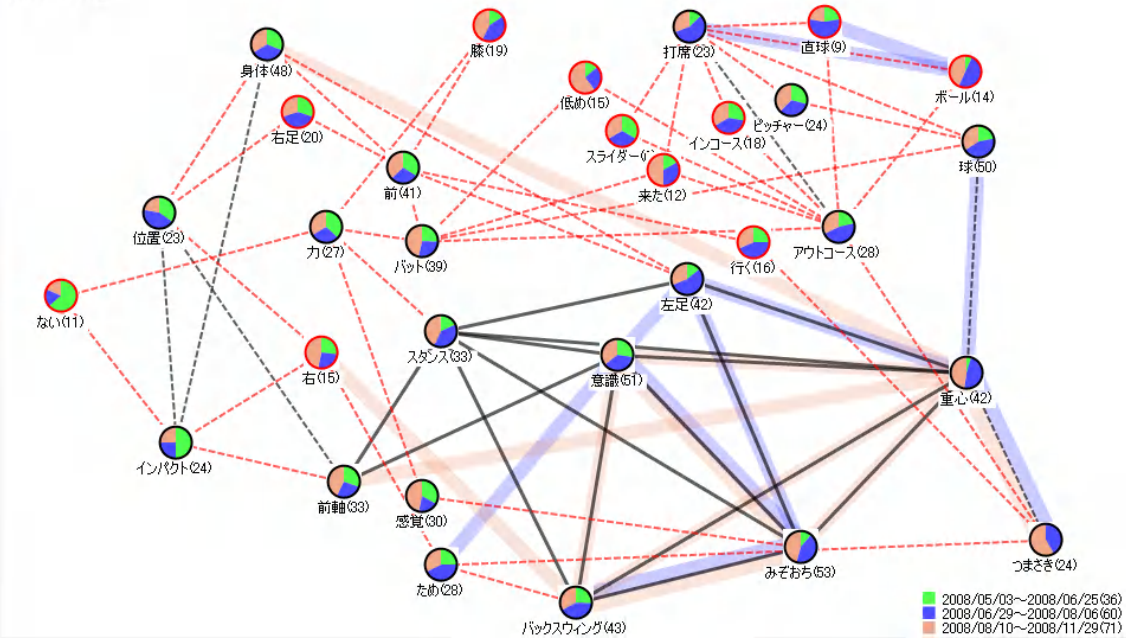


図 9 三分割で中期、後期を描画した属性付き KeyGraph



さらに、後期には、「重心-前軸」「ボックスウィング-右」といった新たな関係（黒リンクなしの橙リンク関係）を意識し始めていることが伺える。多角形構造を為している中心的ノードである「重心」と「ボックスウィング」から新たな変数への発散的思考も現れ始めていると解釈できる。この時期までに構築した「身体と環境」の関係をまた壊し、再構築しようとする意識の現れかもしれない（これが実際に再構築に繋がるかどうかは今後をまたないと結論付けは出来ないが）。2分割という大雑把な分割では見えなかったことが前期—中期、中期—後期と3分割を二つのグラフに分けて見せることによって顕在化し、解釈可能になったことの良い例であろう。

## 5. 結論

メタ認知の蓄積と瞬時の可視化により、時間変化に従って自分の考えは纏まってきているのか、そうでないのかをリンク構造で顕在化させることができる。メタ認知を活性化させるためには、このように「反省のフェーズ」を生文章から離れて俯瞰的に行うことが必要であると考え。このような分析が可能になるためには、日々のメタ認知の言語化と蓄積が必要である。ブログベースになっているこのツールは、蓄積と分析がシームレスに結びついて習慣化できるため威力を発揮する。本論文での分析は後になってからこのツールで現象を検証したに過ぎないが、メタ認知をしているそばからユーザーが時期を指定して振り返ることで、その後のメタ認知を促す効果があるのではないかと考える。今後その観点からの使用経験を積み、ツールの有効性発見と更なる開発を目指す。

## 謝辞

本研究の一部は、国立情報学研究所共同研究「身体的メタ認知を促す 即時フィードバックソフトウェアの開発」の助成によるものである。

## 参考文献

- [諏訪 2005]諏訪正樹:身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化, 人工知能学会誌, Vol.20, No.5, pp.525-532(2005)
- [大澤 2003]大澤幸生:チャンス発見の情報技術—ポストデータマイニング時代の意志決定支援, 東京電機大学出版社(2003)
- [大澤 2006]大澤幸生:チャンス発見のデータ分析—モデル化+可視化+コミュニケーション→シナリオ創発, 第8章, 東京電機大学出版社(2006)
- [伊藤 2008]伊藤貴一, 大澤幸生: 属性付きキーグラフ, 第22回人工知能学会全国大会, 2B2-04, (2008)