

手術現場における 3D 臓器モデルの利用に関する検討

Investigation of Use of 3D Printed Liver in Surgical Operation

前東晃礼¹ 三輪和久² 寺井仁³ 伊神剛⁴ 中村嘉彦⁵ 森健策⁵

Akihiro Maehigashi¹, Kazuhisa Miwa², Hitoshi Terai³,

Tsuyoshi Igami⁴, Yoshihiko Nakamura⁵, and Kensaku Mori⁵

¹名古屋大学未来社会創造機構, ²名古屋大学情報科学研究科,

³名古屋大学情報科学研究科/JST CREST, ⁴名古屋大学医学部,

⁵名古屋大学情報連携統括本部

¹Institute of Innovation for Future Society, Nagoya University

²Graduate School of Information Science, Nagoya University,

³Graduate School of Information Science/ JST CREST, Nagoya University,

⁴Graduate School of Medicine, Nagoya University,

⁵Information and Communications Headquarters, Nagoya University

Abstract: In this study based on ethnographic methods, we investigated how using a three-dimensional (3D) printed liver influenced doctors during liver resection surgery. Results of the analyses implied that using the 3D printed liver enhanced the construction of elaborate mental models of patients' livers, the mental simulation of liver resections, and the construction of shared mental models of patients' livers among doctors.

導入

外的資源

認知科学の領域では、外的資源に関する研究が多く行われてきた。その中でも、外的資源として与えられる情報の提示方法が、人間の認知活動に大きな影響を与えることが示されてきている。近年では、3D(3次元)プリンタの登場により、グラフィックイメージを現実世界に存在するオブジェクトとして作成することが可能となった。これまでの既存の情報提示方法と比較して、このような情報提示は、人間の認知活動に異なる影響を与えると考えられる。本研究では、肝切除の手術現場で、医師が3D印刷された肝臓(以下、3D肝臓モデルとよぶ)を利用する効果について検討を行う。

外的資源としての2D(2次元)イメージの利用については、情報が等価であっても、文章で示された情報を図で示す[1]、または数値データをグラフで示す[2]ことによって、空間的位置を利用して情報を取得することが可能となり、情報の探索や認識が容易になることが示されている。近年は、ヴァーチャルリ

アリティ等の3Dイメージの利用により、奥行情報の提示が可能である。[3]は、2Dよりも3Dイメージを利用した方が、構造情報の理解を促進することを実験的に示している。さらに近年では、3Dプリンタの普及により、オブジェクトの複製を制作することが可能となった。このような3D印刷されたモデルが人間の認知活動に与える影響については、これまでにほとんど行われていない。しかし、先行研究では、人間の奥行情報の認識は、ヴァーチャルな3Dイメージを使用した環境よりも、現実世界において正確であることが示されている[4]。そのため、3Dイメージよりも3D印刷されたモデルを利用した方が、人間の構造情報の理解を促進する可能性が考えられる。

本研究では、エスノグラフィの手法に基づいて、手術中に医師が3D肝臓モデルを利用する効果について検討を行った。

メンタルモデル

メンタルモデルは、ある領域や状況についての心的表象である[5]。手術現場における3D肝臓モデルの利用は、医師が持つ肝臓のメンタルモデルに少な

くとも3つの影響を与えると考えられる。

1つ目は、メンタルモデルの精緻化である。メンタルモデルは、新しい情報が得られるたびに更新され、正確な情報が得られることにより精緻化される[6]。そのため、手術中の3D肝臓モデルの利用は、医師に正確な肝臓部位の空間的位置情報を与え、肝臓のメンタルモデルの精緻化を促進させる可能性が考えられる。2つ目は、メンタルシミュレーションである。メンタルモデルは、行動の結果生じる現象の予測に用いられる[7]。肝切除手術においては、実際の患者の肝臓上では、血管や腫瘍の位置を視覚的に確認することはできない。しかし3D肝臓モデルは、実際の肝臓と同様に、現実世界にオブジェクトとして存在し、患者の肝臓と同様の構造情報を持ち、そしてその情報が可視化されている。そのため、医師は、3D肝臓モデル上で、実際の肝切除を行うことに類似した正確な執刀のメンタルシミュレーションを行うことが可能になると考えられる。3つ目は、他者とのメンタルモデルの共有である。協同作業においては、各個人が類似したメンタルモデルを持つことが知られており、そのようなメンタルモデルは、shared mental model や team mental model とよばれている[8]。手術中の3D肝臓モデルの利用は、肝臓のメンタルモデルの共有を促し、肝臓の構造情報だけではなく、執刀プランの相互理解を促す可能性が考えられる。

本研究では、3D肝臓モデルが利用された手術現場における医師の発話、動作の記録に基づいて、上記の内容について検討を行った。

方法

肝切除手術

本研究では、名古屋大学医学部で行われた3つの手術を観察、記録した。手術の内容は、肝腫瘍の除去手術である。各手術の患者は、70代女性、70代男性、70代男性であった。手術の観察と記録は、名古屋大学医学部で許可を得て、各患者の同意を得た上で行った。各手術では、医師(執刀医、第一助手、第二助手)、看護師2~3名、そして麻酔医2名がスタッフとして手術に参加した。

手術の記録には、3台のカメラと2本のマイクを使用した。図1は、手術現場における記録機材のセッティングを示す。1台のカメラは、手術室に備え付けられたカメラであり、医師らの頭上に設置された。もう1台のカメラは、助手の後ろに設置し、さらにもう1台のカメラは、記録者が手に持ち、手術室を移動して撮影を行った。また、2本のマイクは、医師らの頭上に設置した。患者は、執刀医と助手の

間で、仰向けの姿勢で横たわっていた。

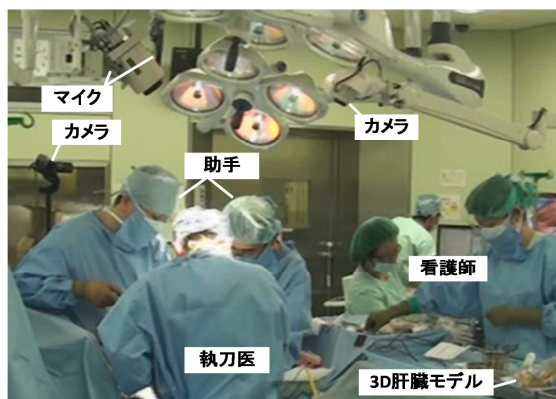


図1: 手術現場における記録機材のセッティング。この図は、記録者のカメラで撮影された映像の一部である。

3D肝臓モデル

各患者により肝臓の形、大きさ、腫瘍の位置は異なるため、手術ごとに各患者の肝臓データに基づいて、3D肝臓モデルが作成された。3D肝臓モデルは、CT(Computed Tomography)による患者の臓器計測によって獲得された臓器データに基づき、3Dプリンタを使ってアクリル樹脂を塗り重ねて作成された。具体的には、厚さ0.02mmのユニットを、約4000層重ねて作成された。その後、余分な樹脂を溶かし、表面を磨いて完成された。3D肝臓モデルでは、血管や腫瘍が可視化され、肝臓内部の構造を視覚的に観察することが可能であった。図2は3D肝臓モデルを示す。図2の白味がかかった薄黄色の血管は門脈を示し、青色の血管は肝静脈を示す。腫瘍は白色で表現された。



図2: 3D肝臓モデル

結果

コード化

記録された映像と音声に基づいて、手術中に、3D

肝臓モデルを利用しながら行われた執刀医または助手の発話とその前後に行われた一連の言語行為を1会話と定義をし、会話ごとに発話と動作を書き起こした。また、各会話で、1つの言い切り、または発話のない1つの身体動作を1セグメントとして分割し、各セグメントで、発話者、発話の起点、発話内容のカテゴリーを設けて、各カテゴリーについてコード化を行った。

発話者に関しては、発話した人物のコード化を行った。セグメントの多くは、執刀医と第一助手の2つのサブカテゴリーに分類された。また、第二助手、看護師、麻酔医の発話もいくつか観察された。発話の起点に関しては、実際の肝臓上または3D肝臓モデル上のどちらで会話が発生したかコード化を行った。セグメントの多くは、実際の肝臓上と3D肝臓モデル上のサブカテゴリーに分類されたが、いずれも起点となっていない発話も観察された。

さらに、発話内容に関しては、何についての発話かコード化を行った。セグメントの多くは、事実確認、プラン確認、予測・推測の3つのサブカテゴリーに分類することが可能であった。事実確認は、手術中の肝臓部位の位置、大きさ、長さ、の確認に関する発話と定義をした。プラン確認は、肝臓の切除部位または切除ラインの確認に関する発話と定義をした。そして、予測・推測は、行為後に生じることの予測、または確認できない事実の確認に関する発話と定義をした。発話内容については、その他に、執刀医が助手に作業の委託を行う発話(「引っ張って」、「これ持って」等)、作業の行いやすさに関する発話(「やりにくい」、「見えにくい」等)、作業プランに関する発話(「写真撮ろうか」、「エコーで見てみよう」等)、そして、発話のない動作が観察された。

分析

3つの手術で取り出された会話の総数は44会話であった(手術1: 17会話, 手術2: 10会話, 手術3: 17会話)。44会話の総セグメント数は、721セグメントであり、1会話の平均セグメント数は、16.39セグメントであった。1会話の平均会話時間は60.25秒であった。

本研究では、3D肝臓モデルの利用が、肝切除を行う医師に与える影響について検討を行うため、3つのカテゴリーの以下の各サブカテゴリー、つまり発話者のカテゴリーに関しては、執刀医または第一助手、発話の起点のカテゴリーに関しては、実際の肝臓または3D肝臓モデル、そして、発話内容のカテゴリーに関しては、事実確認、プラン確認または予測・推測が割り当てられたセグメントを対象に分析を行った。また、発話者に関しては、第二助手も医

師であるが、手術中の発話数(10セグメント)が極端に少なかったため分析からは除外した。その結果、427セグメントが分析対象となった。

まず、その427セグメント中の発話者のセグメント数をカウントした結果、執刀医の発話数が282セグメントであり、第一助手の発話数が145セグメントであった。二項検定の結果、執刀医の発話が有意に多いことが示された($p<.001$)。次に、発話の起点についてセグメント数をカウントした結果、実際の肝臓上での発話数が237セグメントであり、3D肝臓モデル上では190セグメントであった。二項検定の結果、実際の肝臓上での発話が有意に多いことが示された($p<.05$)。そして、発話内容についてセグメント数をカウントした結果、事実確認についての発話数が237セグメント、プラン確認については153セグメント、予測・推測については37セグメントであった。カイ二乗検定の結果、3者間の偏りが有意であった($\chi^2(2)=141.73, p<.01$)。多重比較の結果、プラン確認と予測・推測よりも事実確認についての発話が有意に多く($p<.001$)、また、予測・推測よりもプラン確認についての発話が有意に多いことが示された($p<.001$)。以下では、発話内容に関して、特に手術中の発話が顕著であった事実確認とプラン確認について分析を行った。

事実確認

手術の記録から、事実確認に関しては、実際の肝臓上では触覚による確認とともに生じた発話、また、3D肝臓モデル上では視覚による確認とともに生じた発話が多く観察された。そのため、事実確認に関しては、触覚と視覚による確認に焦点を当てた分析を行った。実際には、触覚による確認に関する発話として、感触に関する発話(「堅い」、「かちかち」等)、または実際の肝臓に圧力をかけて握る動作とともに発話が行われているセグメント数をカウントした。また、視覚による確認に関する代表的な発話として、距離と位置関係に関する発話(距離については「～センチ」、「これくらい」等、位置関係については「～の奥」、「～の上」等)が生じたセグメント数をカウントした。Table 1は、実際の肝臓上と3D肝臓モデル上で、触覚と視覚による確認に関する発話が生じたセグメント数を示す。

表1: 実際の肝臓上と3D肝臓モデル上で、触覚と視覚による確認に関する発話が生じたセグメント数

	触覚	視覚
実際の肝臓	21	14
3D肝臓モデル	0	34

直接確率を行った結果、有意な偏りがみられ ($p<.001$), 3D 肝臓モデル上では、視覚による確認に関する発話の増加が顕著であることが示された。

以下に、事実確認の典型的な発話パターンが現れた会話を示す。セグメントごとに発話者と発話の起点が示されている。発話者に関しては、執刀医は S(Surgeon), 第一助手は A(Assistant)と示す。発話の起点に関しては、実際の肝臓は R(Real liver), 3D 肝臓モデルは 3D(3D printed liver), 起点なしは N(None)と示す。また、下線は身体動作を示す。

- 1 A/N : ちょっと、さっきの貸して
- 2 S/N : 3D プリンタのモデル、モデルちょうだい
- 3 A/R : ここに何か堅いものあるよ
患者の肝臓を軽く握る
- 4 S/R : そうですね、これですね
患者の肝臓を軽く握る
- 5 A/R : ここだね
患者の肝臓を軽く握る
- 6 A/N : 看護師から 3D 肝臓モデルを受け取る
- 7 S/3D : ここというか、ここですね
3D 肝臓モデルを指でなぞって指差し
- 8 A/R : ここだね
患者の肝臓を指差し
- 9 S/R : ええ
患者の肝臓を指差し
- 10 S/3D : 頂点が、頂点がここですから
3D 肝臓モデルを指差し
- 11 A/3D : そうだね
- 12 A/N : 看護師に 3D 肝臓モデルを手渡す

セグメント 1 と 2 では、執刀医と第一助手が、看護師に 3D 肝臓モデルを渡すように告げている。セグメント 3~5 で、実際の肝臓上で触覚による肝臓部位の確認が行われている。セグメント 7 では、3D 肝臓モデル上で視覚的に肝臓部位の確認が行われている。そして、セグメント 8 と 9 で、実際の患者の肝臓上で肝臓部位の確認が行われ、セグメント 10 と 11 で、3D 肝臓モデル上で視覚的に肝臓部位の確認が行われている。一連の発話パターンから、事実確認においては、まず、(1)実際の肝臓上で触覚による肝臓部位の確認が行われ、次に、(2)3D 肝臓モデル上で視覚による肝臓部位の確認が行われ、そして、(3)実際の肝臓上で肝臓部位の確認が行われるというプロセスが確認された。

プラン確認

プラン確認における発話では、実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で生じた切除する部位、切除するラインに関する発話について分析を行った。実際には、切除部位に関する発話(「~を切る」、「~は残す」等)が生じたセグメント数をカウントした。また、切除ラインに関する発話(「このラインで切る」、「~に沿って切る」等)が生じたセグメント数をカウントした。Table 2 は、実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で、切除部位と切除ラインに関する発話が生じたセグメント数を示す。直接確率を行った結果、有意な偏りがみられ($p<.005$), 3D 肝臓モデル上では、切除部位に関する発話の増加が顕著であることが示された。

表 2: 実際の肝臓上と 3D 肝臓モデル上で、切除部位と切除ラインに関する発話が生じたセグメント数

	切除部位	切除ライン
実際の肝臓	16	33
3D 肝臓モデル	22	9

以下に、プラン確認に関する典型的な発話パターンが現れた会話を示す。

- 1 S/R : これも残さなあかんやろ?
- 2 A/R : 裏のですか?
- 3 S/N : 3D 肝臓モデルを持ち上げる
- 4 S/3D : 裏のここか、ここだ、裏のここだ
3D 肝臓モデルを指差し
- 5 A/3D : 残す奴ですか?
- 6 S/3D : いや、残さなくていい、ハチ(肝臓部位の名称)だから
- 7 A/3D : あー
- 8 S/3D : ここだ、このツモール(腫瘍)のすぐここだ
3D 肝臓モデルを指差し
- 9 A/3D : あー
- 10 S/3D : この枝だ、この枝
- 11 A/3D : ここがこういう風にはまってる
- 12 S/N : 3D 肝臓モデルを手術台に置く
- 13 S/R : やっぱ、ハチを
- 14 A/R : 全切除しないかんですかね
- 15 S/R : うん、カーブに沿って割ってかなだね

セグメント 1 と 2 では、実際の肝臓上で切除部位の確認が行われている。セグメント 5 と 6 で、3D 肝臓モデル上で切除部位の確認が行われている。そして、セグメント 14 で実際の肝臓上で切除部位の確認が行われた後に、セグメント 15 で、実際の肝臓上で切

除ラインの確認が行われている。一連の発話パターンから、プラン確認においては、まず、(1)実際の肝臓上で切除部位の確認が行われ、次に、(2)3D 肝臓モデル上で切除部位の確認が行われ、そして、(3)実際の肝臓上で切除ラインの確認が行われるというプロセスが確認された。

コミュニケーション

最後に、医師間のコミュニケーションの観点から、3D 肝臓モデルの利用について検討を行うために、発話者、発話の起点、発話内容の3種類のコードが割り当てられた全てのセグメントを対象に、指示語(「これ」、「この」等)と肝臓部位の名称(「肝静脈」、「グリソン」等)に関する発話数をカウントした。その結果、1つのセグメントで複数の指示語、肝臓部位の名称が頻出したため、形態素解析ソフトであるMeCab[9]を使用して、分析対象の全てのセグメント中の発話を文節に区切り、文節単位で指示語と肝臓部位の名称が頻出した数をカウントした。Table 3は、実際の肝臓上と3D 肝臓モデル上で、指示語と肝臓部位の名称の発話が生じた文節数を示す。直接確率を行った結果、有意な偏りがみられ($p < .05$)、実際の肝臓上に比して、3D 肝臓モデル上では、指示語の増加が顕著であった。

表 3: 実際の肝臓上と3D 肝臓モデル上で、指示語と肝臓部位の名称の発話が生じた文節数

	指示語	部位の名称
実際の肝臓	102	64
3D 肝臓モデル	147	56

考察

肝臓のメンタルモデルの精緻化

事実確認に関する発話の分析を行った結果、手術中の医師らの発話では、3D 肝臓モデル上で視覚による確認に関する発話の増加が顕著であった。また、会話のプロセスについて検討を行った結果、事実確認に関しては、まず、(1)実際の臓器上で触覚による肝臓部位の確認が行われ、次に、(2)3D 肝臓モデル上で視覚による肝臓部位の確認が行われ、そして、(3)実際の臓器上で肝臓部位の確認が行われることが確認された。このプロセスの(1)では、医師らは、実際の患者の肝臓上で触覚的に肝臓部位の確認を行い、プロセスの(2)では、3D 肝臓モデル上で、肝臓のメンタルモデルの更新を行っていたと考えられる。そして、プロセスの(3)で、医師らは、実際の肝臓上

でメンタルモデルの対応付けを行っていたと考えられる。そのため、3D 肝臓モデルの利用により、肝臓部位の空間的位置情報の理解が促進され、医師が持つ肝臓のメンタルモデルが精緻化されたことが推測される。

2D と 3D イメージに関する先行研究では、2D イメージの情報から 3D の内的表象を生成する場合、2D イメージの奥行き情報を内的に補足して変換する必要があることが示されている[10]。また、人間の奥行き認識を比較した先行研究は、ヴァーチャルな環境よりも、現実世界では奥行き情報が豊富であるため、現実世界で奥行き認識が正確に行われることを示している[4]。このことは、3D イメージの情報から実際のオブジェクトの内的表象を生成する場合にも、2D イメージを利用する際と同様に、奥行き情報を内的に補足して変換する必要があることを示唆している。今回の手術で利用された 3D 肝臓モデルは、現実世界に存在するオブジェクトであった。手術現場において、医師たちは、3D 肝臓モデルを実際の肝臓のすぐ脇に配置して、3D 肝臓モデルと実際の肝臓との構造情報の対応づけを行っていた。そこでは、2D イメージや 3D イメージを利用する際に行われる内的な変換は必要なく、3D 肝臓モデルから得た情報を、実際の臓器上に直接対応づけすることが可能であったと考えられる。

執刀のメンタルシミュレーション

プラン確認に関する発話の分析を行った結果、手術中の医師らの発話では、3D 肝臓モデル上で切除部位に関する発話の増加が顕著であった。また、会話のプロセスについて検討を行った結果、プラン確認に関しては、まず、(1)実際の臓器上で切除部位の確認が行われ、次に、(2)3D 肝臓モデル上で切除部位の確認が行われ、そして、(3)実際の臓器上で切除ラインの確認が行われることが確認された。このプロセスの(1)では、医師らは、実際の患者の臓器上で切除部位の確認を行い、そしてプロセスの(2)では、3D 肝臓モデル上で、切除のメンタルシミュレーションを行っていたと考えられる。さらに、プロセスの(3)で、再度、実際の肝臓上で切除のメンタルシミュレーションを行っていたと考えられる。そのため、3D 肝臓モデルの利用により、切除するまたはしない肝臓部位の理解が促進され、3D 肝臓モデル上で、正確な執刀のメンタルシミュレーションが行われたことが推測される。

先行研究では、メンタルシミュレーションによる予測が誤りであった場合、メンタルモデルの修正が行われ、修正されたメンタルモデルに基づいて、再度シミュレーションが行われることが示されている

[7]. また、複雑な機能を持つシステムの振る舞いを理解するために、学習者が実際にそのシステムを操作することにより、メンタルシミュレーションの負荷を削減し、正確なシステムの振る舞いを観察できることが示されている[11]. 今回、3D 肝臓モデルが利用された肝切除の手術現場は、メンタルシミュレーションによる予測の誤りが生死に関わる状況であり、また、試験的な行動が許されない緊迫した状況であった。3D 肝臓モデルは、実際の肝臓と同じ構造情報を持ち、実際の肝臓内部の情報を可視化させ、そして、現実の世界にオブジェクトとして存在していた。これらのことから、手術現場において、医師らは3D 肝臓モデルを利用することにより、実際の患者の肝臓を切除する行為に近い正確なシミュレーションを3D 肝臓モデル上で行うことが可能であったと考えられる。

医師間のメンタルモデルの共有

手術中の医師らの発話では、実際の肝臓上に比して、3D 肝臓モデル上で指示語の増加が顕著であった。[11]は、指示語の理解について実験的検討を行い、ある物理的対象に向かって指示語が発せられる際、発話の聞き手は、視覚的な特徴から指示対象を推測することを示している。今回の手術で利用された3D 肝臓モデルでは、肝臓内部の物理的構造が可視化され、また執刀に関わる重要な部位は色付けにより強調されていた。医師たちは、形や色の視覚的特徴を明確に認識することができたため、3D 肝臓モデル上で指示語の使用が増加したと考えられる。

また、[12]は、指示語は、発話者と聞き手と指示対象の関係だけを示すため、指示語の使用により、それ以外の事象に関わる情報処理を避けることができると述べている。上記のように、3D 肝臓モデルでは、肝臓内部の構造が可視化されており、指示語によって情報を共有することが可能であった。そのため、医師たちは、3D 肝臓モデルを利用することによって、肝臓の構造理解の共有に専念することが可能となり、医師間の肝臓のメンタルモデルの共有や執刀プランの相互理解を円滑に行うことができたと推測される。

参考文献

[1] Larkin, J. H., and Simon, A.: Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words, *Cognitive Science*, Vol. 11, No. 1, pp. 65–100, (1987)

[2] Shah, P.: A model of the cognitive and perceptual processes in graphical display comprehension, In M. Anderson (Ed.), *Reasoning with diagrammatic representations*, pp. 94–101, Menlo Park, CA: AAAI

Press, (1997)

- [3] Keehner, M., Hegarty, M., Cohen, C., Khooshabeh, P., and Montello, D. R.: Spatial reasoning with external visualizations: What matters is what you see, not whether you interact, *Cognitive Science*, Vol. 32, No. 7, pp. 1099–1132, (2008)
- [4] Kemeny, A., and Panerai, F.: Evaluating perception in driving simulation experiments, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 7, No. 1, pp. 31–37, (2003)
- [5] Gentner, D.: Mental models, psychology of, In N. J. Smelser & P. B. Bates (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences*, Amsterdam: Elsevier Science, (2002)
- [6] Vosniadou, S., and Brewer, W. F.: Mental models of the day/night cycle, *Cognitive Science*, Vol. 18, No. 1, pp. 123–183, (1994)
- [7] Trickett, S. B., and Traflet, J. G.: “What if . . .”: The use of conceptual simulations in scientific reasoning, *Cognitive Science*, Vol. 31, No. 5, pp. 843–875, (2007)
- [8] Mathieu, J. E., Heffner, T. S., Goodwin, G. F., Sala, E., and Cannon-Bowers, J. A.: The influence of shared mental models on team process and performance, *Journal of Applied Psychology*, Vol. 85, No. 2, pp. 273–283, (2000)
- [9] Kudo, T., Yamamoto, K., and Matsumoto, Y.: Applying conditional random fields to Japanese morphological analysis, In *Proceedings of the 2004 conference on empirical methods in natural language processing*, pp. 230–237, Morristown, NJ: Association for Computational Linguistics, (2005)
- [10] Alac, M.: Widening the wideware: An analysis of multimodal interaction in scientific practice, In *Proceedings of the 27th annual meeting of the cognitive science society*, pp. 85–91, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum, (2005)
- [11] Hegarty, M.: Capacity limits in diagrammatic reasoning, In M. Anderson, P. Cheng, & V. Haarslev (Eds.), *Theory and application of diagrams*, Berlin: Springer, (2000)
- [12] Clark, H. H., Schreuder, R., & Buttrick, S.: Common ground and the understanding of demonstrative reference, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 22, No. 2, pp. 245–258, (1983)
- [13] Pylyshyn, Z. W.: Situating vision in the world, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 4, No. 4, pp. 197–207, (2000)