

# 行動計測・知識外化技術による 実世界学習の場の空間特性の抽出手法

岡田 昌也<sup>1,a)</sup> 多田 昌裕<sup>2</sup>

受付日 2011年8月21日, 採録日 2012年1月13日

**概要:** 学習者が実世界の中で体験を行い, 実世界に根ざした知識を得る実世界学習の重要性が指摘されている。教室学習とは異なり, 実世界学習は, 空間的広がりを持つ実世界との相互作用を通してなされる。よって, 実世界学習において相互作用や学習効果を引き出す鍵は, 実世界にはかならない。本研究は, ユビキタスセンシングおよび知識外化の技術により, 「実世界学習の場が, いかに多様な学習を引き出すか」という, 場の空間特性を抽出する分析技術を提案する。本分析技術は, 実世界では多様な学習が生起するが, その内容は場所に依存することを裏付け, 場所情報を手がかりに学習状況をとらえられることを示した。本分析技術は, 知識につながるタネとなる物理的な情報, すなわち, 知識のタネが, 実世界にどのように分布するかを描き出した。そして, 知識のタネは実世界にあまねく存在する (遍在) が, 空間的に均等に分布するのではない (偏在) ことを示した。多様な知識活動をとらえるための分析技術は, 学習者と実世界における相互作用をより効果的な形態へと再設計する際に, 基礎的な知見を与える。

**キーワード:** 実世界学習, 多様性, 空間分析, マルチモーダルセンシング, 知識外化

## Extracting Spatial Characteristics of a Real-world Learning Field by Behavior Sensing and Knowledge Externalization

MASAYA OKADA<sup>1,a)</sup> MASAHIRO TADA<sup>2</sup>

Received: August 21, 2011, Accepted: January 13, 2012

**Abstract:** Recent research acknowledges the importance of experienced-based learning in the world (i.e., real-world learning). Different from classroom learning, real-world learning is done through interaction of a learner and the world. Thus, a real-world learning field is the key to promoting learners' diverse interaction and learning effects. We propose an analysis method to extract spatial characteristics of a real-world learning field by the technologies of ubiquitous sensing and knowledge externalization. Our analysis showed that learning diversely occurred in the world, but learning content depended on a learner's location. We showed that position information was a clue for understanding learning situation. Our method showed that the seeds of real-world knowledge were ubiquitously but unevenly distributed in the world. The method to grasp the diversity of intellectual activities is fundamental to the effective redesign of learners' interaction with the world.

**Keywords:** real-world learning, diversity, spatial analysis, multimodal sensing, knowledge externalization

## 1. 緒論

### 1.1 実世界からの発見的な学習

近年, 書籍などによる机の上での学習にとどまらず, 学習者が実世界の中で体験を行い, 実世界に根ざした知識を得る実世界学習の重要性が指摘されている [1], [2]. 実世界

<sup>1</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, Hamamatsu, Shizuoka 432-8011, Japan

<sup>2</sup> 株式会社国際電気通信基礎技術研究所知能ロボティクス研究所  
ATR Intelligent Robotics and Communication Laboratories, Keihanna Science City, Kyoto 619-0288, Japan

a) m.okada@acm.org



図 1 実世界学習（環境学習）. 特に，重要学習時に特有の身体動作（一定滞留行為 [3]）をとまうとき

Fig. 1 Real-world learning (environmental learning). Stable stay at important learning [3].

の中で活動する学習者は，実世界から情報を得て，その情報を解釈する過程で知識を獲得する．実世界における知識獲得に関して重要な視座を提供している状況的認知の考え方 [1] に着想を得て，本研究は，次のような知識観を持っている．

- (1) 実世界の場には，「知識につながるタネとなる，物理的な“情報”」，すなわち，「知識のタネ」が埋め込まれて存在している．
- (2) 学習者は，実世界との相互作用を通して，知識のタネを発見し，それを解釈・意味理解することで，実世界に対する知識を得る．

図 1 に示す環境学習 [2], [3] は，自然環境との触れ合い，すなわち，実世界との相互作用を通して環境への理解を深める学習である．したがって，人が実世界から知識を発見的に得る発見的学習の過程を研究する際に，環境学習は良い題材となる．

## 1.2 学習における多様性の支援

従来型の学校教育は，学習者が学ぶ内容や取り組み方をトップダウン的に定めるアプローチであり，学習者の多様性を柔軟に保証するというよりは，決められた学習シナリオのとおり学習者を振る舞わせ，あらかじめ定義された教授範囲の中で効率的に知識を与えることに主眼があった．そこで，近年の教育研究は，実世界における多様な経験を通して，学習者に自律的に知識を獲得させるために，実世界学習の重要性を指摘している [1], [2]．しかし，実世界学習を工学技術で支援する研究は，トップダウンアプローチで設計されたものも多い．たとえば，GPS, RFID などの測位センサを持って歩行する学習者に対して，あらかじめ定義された教育シナリオに基づいて実世界をナビゲーションし，学習者に決められた知識を与える [4] などは，この側面からのよく知られたアプローチである．しかし，実世界知識は状況に埋め込まれており [1]，実世界に存在する学習者は，そのような知識を自律的に探索し，獲得しなければ

ならない．それゆえに，ボトムアップの知識獲得を通じた発見的学習が，実世界学習における重要な要件である．

近年の教育研究は，新しい知識の構築を生産的に行わせるためには，学習者のアイデアにおける多様性が不可欠と指摘しており，学習者間の協調活動によって多視点から 1 つの問題をとらえ直す重要性を認めている [5], [6]．具体的には，協調活動において，複数人が同じ活動を行う際に生じる微妙な見立てのずれが，互いに少しずつ違う形で表現・発話されることで，学習の場で起きていていることに対して見直しが起きる [6]．学習者の視点，理解，知識における多様性が，その差を埋めようとする相互作用（人と人，人と実世界）を引き出す．そして，学習者は自らが持っていた実世界のとらえ方を意識し，互いの差に目を向ける．このことは，実世界に対する異なる見方やアプローチ方法に対して，気づき [2] を与え，学習者の相互作用をさらに多様にする．学習時に得られる多様性を育めれば，1 人では考えつかない解を，学習者らが相互作用の中で協同的に創出するなど，高い知的達成効果を引き出せる．

画一的な学習ではなく，学習活動の多様性を許容し引き出すことは，新しい知識の生産に本質的な貢献を果たす．トップダウンの知識提供とは異なり，ボトムアップの知識創造は自然発生的であり厳密に統制されるものではないため，扱いがより難しい．実世界でなされるボトムアップの知識創造において，いったい何に着眼してどのように多様性を扱えばよいのか，その方法論を検討することは，教育研究における重要な挑戦である．

## 1.3 本研究の課題

昨今，CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) に代表されるように，学習支援に対して工学技術を応用する研究がさかんである．しかし，従来，学習における協調過程が理解深化を促すメカニズムは十分に明らかでなく，いかなる協調活動が，どのようなタイミングでどのように生起するよう計画すれば最も効果があるかは，不明とされる [7]．学習を効果的に支援する戦略を導出するには，学習という複雑な現象を理解することを目的としたデータ分析手法の開発が，基礎的な課題となる [7]．

実世界学習は，実世界を協調活動の場としてなされる．よって，実世界学習において相互作用や学習効果を引き出す鍵は，実世界にほかならない．本研究の解くべき課題は，「実世界学習の場という物理的空間が，学習者から，いかに多様な興味，行動，知識活動を引き出すか」という観点から，実世界学習の場における多様な空間特性を抽出する分析技術を開発すること，とする．その際，実世界学習の具体例として，自然環境の中における環境学習を対象とする．

なお，本研究における空間特性とは，一定の面積を持つ空間が，学習者からどのような学習行動や知識活動を引き出す特性を備えるかを指す．本研究は，実世界学習の場を

全体的にとらえて均質な1つの空間と見なすものではない。本研究は、実世界学習の場は、細かな部分空間の集合体であるととらえる。そして、実世界学習の場においては、同質の空間特性が全体的に一樣に広がるのではなく、場の部分空間である空間領域ごとに、異質の空間特性が固有に存在すると考える。したがって、学習者が活動するすべての空間領域に対して、各領域に固有の空間特性を知り、それらを、各領域の空間的な位置関係を考慮して解釈することによって、部分空間が構成する学習の場全体の空間特性を知ることができる。と考える。

### 1.4 本稿の構成

本章では本研究の背景と課題を述べた。2章で実世界学習における多様性の内容について考察し、また、空間特性を考慮した学習支援について述べる。3章で、関連研究、本研究のアプローチについて述べる。4章で、ユビキタスセンシング、知識外化の技術によって、実世界学習の場における空間特性を抽出する手法を提案する。5章で、提案手法を用いた分析の結果を示し、提案手法の有効性を示す。6章で本研究の成果をまとめる。

## 2. 実世界学習における多様性

### 2.1 知識のタネと、その発芽

図2を例に、実世界学習で知識獲得がいかになされるかを概説する。領域Aには、一見しても正体が分からない珍しい植物Pがある。学習者Lは、領域Aに移動し、かつ植物Pを観察することで、植物Pの特異な外見的特徴(知識のタネ1)を得られる。植物Pの特異な外見的特徴は、植物Pの正体に迫る重要な手がかりである。このように実世界に内在し、「知識につながるタネとなる、物理的な「情報」」を、本研究は「知識のタネ」とよぶ。実世界学習における物理的な行動には、歩き回る、観察・調査する、触るなどがあるが、物理的行動の役割は、実世界へ能動的に働きかけ、膨大な実世界情報の中から興味のあるものを、知識のタネとして選択的に拾い上げることである。

学習者は、情報として見つけた知識のタネを、解釈する。情報を適切に意味理解できれば、知識のタネは発芽して知

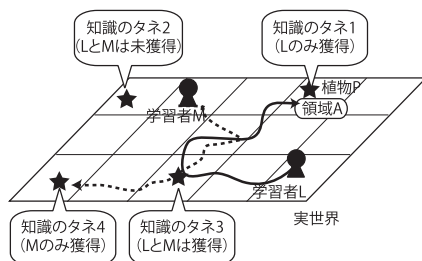


図2 実世界の各所に内在する知識のタネを、行動によって取り出す  
**Fig. 2** Learners' behavior for extracting knowledge seeds from the world.

識になる。一方、これができない場合、知識のタネは発芽せず、情報は知識に昇華されない。たとえば、学習者Lが、植物Pの特異な外見的特徴を植物Pの生息環境などと関連付けてうまく解釈・理解できれば、植物Pに関する新たな知識を得る。すなわち、植物Pに関する知識のタネを発芽させ、植物Pに関する知識に昇華できる。以上の説明を、図3にまとめたため、参照されたい。

### 2.2 多様性における共通性と個別性

実世界学習における多様性がいかなるものか、本研究は、次のように考察する。知識のタネは、実世界の各場所に固有に存在する物理的な情報である(場所ごとの物理情報の個別性)。植生が場所により異なる様相を示すように、実世界における空間特性は一樣に分布するのではない(空間全体としての物理情報の多様性)。よって、学習者がどこで何に注目し、いかなる行動をするかによって、どのような知識のタネを実世界から得られるかが変わる(空間全体における情報獲得の多様性)。たとえば図2で、知識のタネ1は学習者Lのみが、知識のタネ4は学習者Mのみが、個別に得た情報である。一方、知識のタネ3のように、学習者が共通して気付く情報もある。さらに、知識のタネ2のように、実世界には誰も気付かない未発見の情報も存在する。

協調学習は、グループ構成員が実時間で情報交換しながら行うため、彼らが見つけた知識のタネは協調活動の過程で共有される(情報獲得の共通性)。ただし、協調学習に参加していても、物理情報である知識のタネを、いかに解釈・理解し知識に昇華できるかは、各学習者における知識処理の差によって異なる(知識獲得の個別性と共通性)。

著者らによるこれまでの調査でも、多くの学習者が共通して興味を持つ場所があること、すなわち、多様性の中における共通性を確認している。このような場所が、学習における1つの核となることはいうまでもないが、一方で、多様性を育む観点からは、学習者が多様に行う学習の個々、すなわち、多様性の中における個別性に焦点を当てること

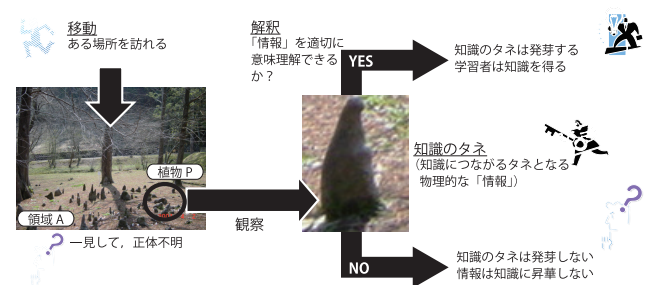


図3 知識のタネの獲得過程(情報獲得過程)、および、知識のタネの発芽過程(知識獲得過程)

**Fig. 3** Process of obtaining a knowledge seed (i.e., information acquisition) and germinating the knowledge seed (i.e., knowledge acquisition).

も重要である。

ここで、多様性とは無秩序状態ではなく、多様性の中には共通性（普遍性）と個性があることに、注意したい。上述のとおり、実世界学習における知識獲得活動でも、共通性と個性が混在している。統計は、実世界の事象に関して、その本質を抽出するための強力な手段であり、たとえば、学習効果の統計的分析などに用いられる。しかし、多くの統計的手法は、多様な現象における個性に焦点を当てるのではなく、現象の中で確認される共通性に焦点があった。たとえば、学習プログラムの全体的な効果を検証することは、この視点である。多様性における個性を切り捨てるのではなく、共通性と個性の両面から学習活動の多様性に対して構造分析を行う方法論は、従来確立されていない。

### 2.3 空間特性を考慮した学習支援

環境学習におけるある時点の行動は、**重要学習**（観察、知識交換、複合観察\*1）と、**非重要学習**（無観察、無言、散漫な会話、雑談、休憩など）に大別できる [3]。本研究は、文献 [3] と同じく、重要学習に該当しない時点は、学習者の行動は非重要学習であると見なす。観察、知識交換、複合観察は、実世界と積極的に関わりながら、実世界を理解するための重要学習だが [3]、一般に実世界の事象は難しいため、知識のタネを拾い集めても、必ずしもそれをその場で知識に昇華できるとは限らない。発芽しなかった知識のタネ、すなわち、「興味はあるが、あと一歩理解が及ばずうまく知識に昇華できなかったこと」は、**未獲得知識**であり、新たな事象や概念を見出す（気づき [2]）ためのきっかけになる情報である。実世界学習の場をすべて一様の重要さでとらえるのではなく、「面白いが理解が難しい場所」、「未獲得知識が多く、気づきのきっかけが豊富な場所」を抽出し、その場所を中心に重点的に学習支援を行えば、新しい視点や行動を引き出し、その結果、知識獲得を促進できる。すなわち、本研究の課題を解決して、実世界学習の場における空間特性が抽出可能となれば、実世界を有効活用した学習支援が見込める。

## 3. 課題解決のためのアプローチ

関連研究について考察しながら、本研究の課題に対するアプローチを述べる。

従来、社会科学の分野などでよく使われる手法として、人の相互作用を理解するために、彼らの発話に着目し、その内容を書き起こして行うプロトコル分析 [8], [9] が知られる。発話情報は重要だが、本研究の目的においては、学習者が最終的にいかなる知識を得たのかという情報なしに、各時点における発話内容だけを分析しても、各時点に

おける知識状況（知識のタネを獲得するが知識には昇華できない学習レベル、知識のタネを発芽させて知識を獲得できる学習レベルなど）を特定するには限界がある。また、当然ながら、発話情報だけでは、いかなる内容やレベルを備える学習が、実世界のどの場所でなされたのかは把握できない。

一方、従来、人の位置 [10]、日常動作（歩行、座る、階段の昇降など） [11]、通常動作から逸脱する異常な動作や移動 [12]、汎用端末（携帯電話など）を用いた動作推定 [13], [14] など、人の物理的な行動をセンシング技術で推定する研究がなされている。これは、どのような物理量（速度、加速度、角速度、通信電波強度など）がセンサで観測されれば、人がどのような物理的行動をしたと見なせるかという、物理量と物理的行動の対応関係を礎にしている。しかし、人がどのような物理的行動をしたら、どのような知識状況にあると見なせるか、すなわち、物理的行動と知識状況の間の対応関係は、これまで不明である。したがって、センサで身体行動を計測したとしても、知的活動の状況をとらえることは難しかった。文献 [3] は、学習者の体軸方向情報と歩行情報から、実世界における重要な学習行動の生起を推定する先駆的研究だが、学習者が重要学習を行っている時点にどの程度の理解をしているかなど、学習者の知識状況には踏み込んでいない。また、協調活動の場でなされる相互作用をセンサで計測・記録することで、重要なインタラクションパターンの発見・抽出 [15], [16]、会話構造の推定 [17], [18]、参与構造の分析 [19] などを行う例が知られるが、本研究とは興味が異なり、人の知識状況を分析することに主たる焦点を当てるものではない。

古くから、実世界指向の研究では、「ある瞬間に人がどこにいて、周辺にいかなる資源があるか」を人の基礎的状況ととらえる [20] ことが多い。実世界に事前に用意された教材を、位置情報に基づきガイドする支援 [20] が典型的な例で、実世界指向の学習に関する近年の研究でもこの概念的枠組みの範疇でなされた例が多い。たとえば、自然環境での GPS 測位や、環境内のものに貼付した RFID タグで、学習者の移動行動やものへの接近行動を推定し、学習者周辺の学習対象物に関する情報、指示、クイズ教材を提示するなどである [4], [21]。ここで、位置情報に基づく学習支援では、現場の地図（博物館であれば展示情報地図、環境学習であれば植生地図）から、教材の物理的な分布情報を抽出し、システムに組み込むことが考えられる。しかし、学習者は実世界との相互作用を通して情報や知識を得るため、単にどこに何があるかという教材分布情報は、「人がどこでどのように情報を獲得し、知識として理解するか」という実際の学習活動を表現するものではない。

近年、人の場所と物理的な行動の関係を分析する研究が知られる。文献 [22] は、空間の中での人の移動軌跡を蓄積・クラスタリングすることで、空間の中での行動パター

\*1 複合観察：共同調査を通して行う共同考察や議論など。グループ学習における最も重要な学習行動 [3]。

ン（展示物の回り方など）を分析した。文献 [23] は、日常行動における位置と速度の違いに着目し、移動軌跡をクラスタリングすることで、歩く場所、働く場所、休む場所など、場所による生活パターンの違いを抽出することを試みた。文献 [24] は、役割（病室、ナースステーション、休憩室など）を与えられた実世界（病院）において、人（看護師）が各場所でなす行動を分析し、各場所において重要な行動が生起する確率を求めた。これらの研究は、位置情報をもとに、実世界の場所と物理的な行動の関係を分析するものだが、本研究とは狙いが異なり、知識に関わる活動が空間の中でいかに生起するかに焦点を当てていない。

実世界学習は、実世界での行動を通して、知識を獲得する営みである。よって、発話、身体行動など外部に表出した学習者の振舞いだけでなく、学習者の内部的な知識状況を測り、実世界における学習状況を理解する必要がある。これは、従来取り組まれていない困難である。本研究は、教室での学習とは異なる、実世界学習に固有の特徴として、以下に注目する。

- 身体性（実世界と直接、相互作用できる身体を持つこと）[25]、および、立脚性（自らの感覚器を通して、周りの実世界情報を得られること）[25] を、学習者は有する。
- 学習者は、実世界や他の学習者との相互作用の中で新たな行動を獲得し、また、周辺の学習素材（植物など）から知識（生態学的知識など）を発見的に得る。すなわち、実世界学習は、学習者の身体を通じた活動であり、学習者が実世界に対してなす相互作用が、学習という知識活動を駆動する。
- 2.2 節で述べたように、実世界学習の場では、空間全体に様々な異なる学習素材が広がる。よって、実世界学習の場では、場所ごとに異なる学習活動がなされ、その結果として、各場所で得られる知識は異なると考えられる。いいかえれば、学習者の知識状況は、場所ごとに異なると仮定できる。

そこで、本研究は、実世界の空間を軸にして学習者の知的相互作用を分析することが有効と考え、次のアプローチをとる。

**アプローチ 1** 学習者が得た「知識のタネ」（情報）や「発芽した知識のタネ」（知識）に関して、その内容の主題（トピック）と獲得過程を分析可能とするために、知識外化技術を開発する。

**アプローチ 2** 学習状況の時系列変化を把握するために、ユビキタスセンシング技術によって、学習者の体験（発話、視界、行動）を観測する技術を開発する。

**アプローチ 3** アプローチ 1, 2 によって知識と体験の両面から相補的に学習状況を観測した結果を、アプローチ 3 では、場所情報を軸に分析する。そして、実世界の各空間領域が引き出した、多様な知識活動の内容や量

を、2.2 節で述べた共通性と個別性に着目して分析することによって、実世界の場が持つ空間特性を明らかにする技術を開発する。

本研究は、ユビキタスセンシング技術、知識外化技術を分析に織り込むことで、実世界における学習状況を、体験と知識の両面から相補的に理解する点が、特徴的である。また、実世界学習が物理的の広がりのある場の中でなされることを考慮し、実世界の空間（場所）という軸を分析に織り込むことで、実世界のどこがいかに学習を引き出すのかなど、空間と知識の状態を対応づけて行う、場の分析手法を提案する点が特徴的である。

#### 4. 実世界学習の場における空間特性の分析手法

アプローチ 1, 2, 3 について、それぞれ、4.1, 4.2, 4.3 節で具体的な手法を述べる。

##### 4.1 知識外化技術

###### 4.1.1 知識のタネ（情報）の抽出

2.2 節で述べたように、協調学習はグループ構成員が情報交換を通し行うため、彼らが見つけて取り組む知識のタネは、グループ内で共有される。学習者が体験学習の際に興味を持ったことを、その場でフィールドノート（手書きのメモ用紙、小型携帯端末によるメモ帳など）にメモさせることによって、分析者（研究者）は各グループが見つけた知識のタネを把握する。なお、学習者は、興味を持ったことをフィールドノートに記載するように求められるため、フィールドノートに記録されなかったことは、学習者が興味を持たなかったことである。

###### 4.1.2 発芽した知識のタネ（知識）の抽出

一般に知識の表現は難しいが、学習後の知識状況を知る手法に、「学習者が、異なる概念間の関係性をいかに関連付け、構造化し、意味的なネットワークを形成したか」を、学習者自身に外化させる概念地図法 [26] がある。図 4 は、概念地図法による記述の一例である。この方法では、学習者は概念をノードとして、概念間の関係性をアークとして書き出す。グラフ構造に意味的制約を与えて特殊化す

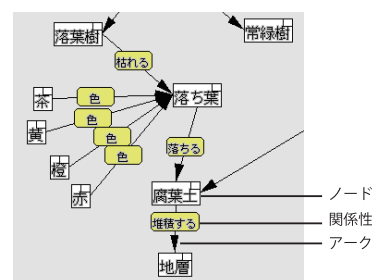


図 4 予備実験で得られた従来型概念地図の一部  
Fig. 4 A part of a conventional concept map at a preliminary experiment.

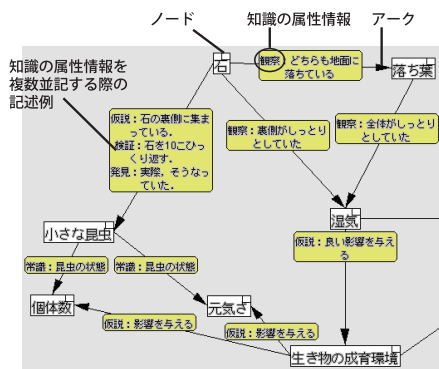


図 5 活動マップの一部 (例)

Fig. 5 A part of an activity map (an example).

ることで、対象の意味を構造化記述する意味ネットワーク [27], [28] の一種として、概念地図法はとらえられる。概念地図法によって概念をノードとして書き出すことは、個々の情報を外化することであり、本研究はこれを知識の外化であるとは見なさない。一方、概念間の関係性をアークで適切に構造化記述できれば、学習者が異なる情報間の関係性を理解した、すなわち、知識を得たと見なす。

概念地図法 [26] は、学習終了時の一時点における学習者の知識状況を外化させるが、多様な学習の過程を外化させるには情報量・表現力が不足していることが、2009年12月に一般被験者18人を対象に行った予備実験で分かった [29]。概念地図法で分析困難な点は、以下である。

- 不明点 1 学習者は、学習前から何らかの知識を有しているが、今回の学習によって何を新たに見出したのか。
- 不明点 2 概念間の関係性が、いかなる活動（観察、調査、議論など）から導出されたか。
- 不明点 3 知識活動が、いかなる所見、仮説、疑問、発見、あるいは、既存知識に対する新しい意味づけにつながったか。

たとえば、図 4 は、予備実験で得られた概念地図の一部だが、腐葉土が積み重なって地層になっていることを、学習者は仮説として考えたのか、観察・検証を行って実際に確かめたのか、あるいは、背景知識として以前から知っていたのかなどを、判別できない。落ち葉のノードに関して、学習中にあちこちを探索して茶、黄、橙、赤という4色の落ち葉を実際に探し出したのか、それとも、単に、落ち葉には様々な色付きがあることを背景知識として知っていてそれを外化したに過ぎないのか、判断できない。そこで、体験学習時の認知活動を、学習者が事後（体験学習後）に外化するために、本研究は、図 5 に示す活動マップを提案する。活動マップは、概念地図法 [26] を基本に、その記法を本研究の用途に合わせて拡張したもので、ノードやアークを単語だけでなく自然言語の句でも表現可能とした点が異なる。また、不明点 1~3 をふまえ、知識活動の過程が明らかとなるよう、知識の属性情報をアークに付与可

能とした点が異なる。知識の属性情報を、以下に示す。

- 例示：概念の例。
- 常識：一般常識、学習以前から有した知識。
- 疑問：不思議・疑問に思ったこと。
- 仮説：概念の関係を説明するよう設けた假定。
- 観察：肉眼で注意深く見極めた現象。
- 検証：仮説の真偽を確かめるための行動。
- 発見：観察や議論、仮説検証によって得られた新しい知識。

本研究では、著者らが過去の環境学習実験で得た、一般被験者 90 人分のフィールドノートの内容を精査した。そして、多様な知識活動を表現でき、かつ人によらず安定して判定できるであろう粒度・内容で、属性情報を定めた。図 5 は、昆虫が、石の裏という高温湿な場所に生息するという現象から、生物の生育環境について仮説を立てて考察する例である。各概念間の関係がいかなる活動で見出されたかを、アークに付加された属性情報から読み取れることが分かる。また、2つの概念間の関係を複数の活動で確かめた場合など、1つのアークに対して複数の属性情報を並記する際の記述についても、同図に示した。なお、本研究は、既存ソフトウェア [30] を、活動マップの描画ツールとして用いた。

#### 4.2 体験観測技術

学習者が、実世界の中を散漫に見て回っても、得られる知識は表層的であり、実世界の要所で主体的に環境へ働きかけながら学ぶことが、深い理解には不可欠である [2], [3]。実世界から知識のタネを見つける（情報の獲得）うえで、また、知識のタネを知識に昇華する（知識の獲得）うえで、学習者と実世界の間の相互作用は大きな意味を持つ。文献 [3] は、学習者が、実世界で重要学習（観察、知識交換、複合観察）に取り組んでいる際、「一定滞留行為」とよぶ、特徴的な身体動作を多くともなうことを見出した。一定滞留行為は、図 1 のように、歩行と体軸方向が、一定範囲内で一定時間安定している身体状態である。そして、(1) ウェアラブル型の自律航法センサ (LPS; Local Positioning System) を用いて、一定滞留行為の生起を高精度（適合率 90.4%, 再現率 93.2%）に検出できることを示した [3]。また、(2) 一定滞留行為の生起を推定することで、学習者が重要学習に取り組んでいるか否かを、良好な精度（適合率 87.1%, 再現率 64.6%）で推定できることを示した [3]。一般に、推定問題において、正確さの指標である適合率と、網羅性の指標である再現率は、トレードオフの関係にあるが、本研究の用途では、重要学習の生起推定においてその適合率が高いことが重要である。なぜならば、学習者が一定滞留行為を行っていることをセンサで検出すれば、その時点において学習者は重要学習を行っているという高い確度で見なせるためである。

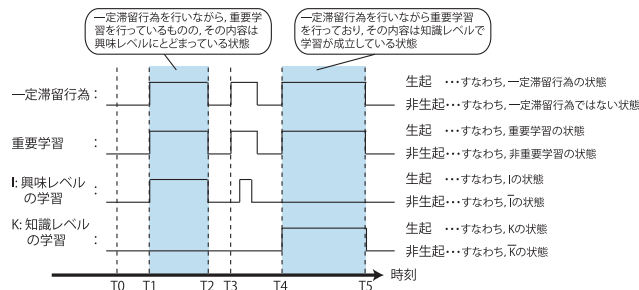


図 6 学習活動の時系列生起データ

Fig. 6 Time-series occurrence data of learning.

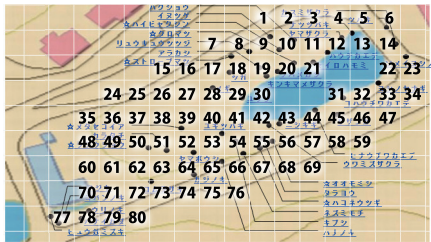


図 7 実世界学習の場 (京都大学上賀茂試験地)

Fig. 7 Real-world learning field in Kamigamo Experimental Forest, Kyoto University.

本研究は、各学習者に自律航法センサ (腰部; 255g) を装着させ、得られるセンサデータから一定滞留行為の生起推定を行うことで、各学習者が行った重要学習の時系列生起情報を得る。図 6 は、ある学習者 1 人がなした学習行動の時系列生起データを例示したものであり、時刻 (横軸) の進行にそって各状態 (縦軸) がいかに生起するかを示す。図 6 は、複数の時系列データを時刻情報で同期したものであり、任意の時刻を参照し、その時刻における各状態を読む。たとえば、時刻 T1 では学習者は一定滞留行為を生起させ、重要学習を開始したところである。この一定滞留行為と重要学習は T1~T2 の間持続し、T2 に終了することが読み取れる。T2~T3 など、重要学習が生起していない時点は、いかえれば、非重要学習と定義される行動が生起している時点である。

自律航法センサに加えて、各学習者にウェアラブル型のカメラ (頭部; 115g)、マイクロフォン (口元; 1g) を装着させ、各自の視界 (水平画角 71 deg, 垂直画角 47 deg; 640×480; 25 fps; MPEG4)、発話 (8 kHz; 32 kbps; G.726) を記録する。また、分析者 (研究者) が、学習者の行動・発話をビデオで記録する (720×480; 29.97 fps) ことで、ウェアラブル装置による記録を補い、分析の詳細さと正確さを高める。

#### 4.3 知識と体験の両面からの場の空間特性の分析

実世界を空間領域に分割し、各空間領域でなされる実世界学習の特徴を分析することで、実世界学習の場における空間特性を抽出する。図 7 は、京都大学フィールド科学教



図 8 多視点記録の同期再生による学習状況のアノテーション

Fig. 8 Annotating learning situations by synchronously replaying multiview records.

育研究センター上賀茂試験地の一部 (130×50m) に設定した、実世界学習の場である。本研究は、この場における活動対象場所を、10×10m からなる空間領域の集合体として扱う。格子状の各空間領域上に書かれた数字は、領域番号である。

まず、本研究は、学習者の身体動作を計測した自律航法センサの情報を解析し、一定滞留行為の時系列生起情報を生成する。一定滞留行為の生起時間量は、重要学習が生起した時間量の推定値である。重要学習の推定において適合率が高いことから、この推定値は、「重要学習が、少なくともこれだけの時間量は生起したと、高い確度でいえる」という値である。本研究では、空間領域ごとに、一定滞留行為がどの程度の時間量生起したか、また、領域滞在時間量に対しどの程度の時間割合を占めたか算出する。すなわち、重要学習の自動推定技術 [3] という工学的分析手法を応用することで、各空間領域が重要学習をどの程度引き出したか、重要学習生起の空間的分布を分析する。

一方、3章で述べたように、学習者が重要学習を行っている時点でどの程度の理解をしているかなど、学習者の知識状況 (重要学習がどのような質の知識活動をともなうか) は、センサなどの外部観測からだけでは把握しきれず、現状、工学的に自動推定することは困難である。そこで、本研究は、以下に示す S1~S3 の手続きにそって、知識状況をとらえるための内部観測手法を、分析手法に取り込む。

- S1. 学習者が情報として得た知識のタネに関して、そのトピックを、フィールドノートから抽出する。また、学習者が知識として得た「発芽した知識のタネ」に関して、そのトピックを、活動マップから抽出する。
- S2. ウエアラブルカメラおよびビデオカメラによる多視点の音声・映像記録を図 8 のように同期再生しながら、学習者が各時点で扱っているトピックを特定する。そして、各時点の学習内容が、フィールドノートや活動マップに外化された内容を扱うものか否かを判別する。
- I. フィールドノートに外化された内容を扱う場合 そ

の時点の学習は、知識のタネの獲得につながった学習、あるいは、すでに獲得された知識のタネに焦点を当てた学習、と見なせる。すなわち、「興味レベルの学習」が生起している時点と見なせる。

**I. フィールドノートに外化された内容以外を扱う場合** その時点の学習は、知識のタネの獲得につながらなかった学習、あるいは、知識のタネに関係ない学習、と見なせる。 $\bar{I}$ は、 $I$ に該当しない時点、すなわち、興味レベルの学習が生起していない時点である。

**K. 活動マップに外化された内容を扱う場合** その時点の学習は、知識のタネの発芽に寄与する学習、あるいは、発芽した知識のタネに焦点を当てた学習と見なせる。すなわち、「知識レベルの学習」が生起している時点と見なせる。

**K. 活動マップに外化された内容以外を扱う場合** その時点の学習は、知識のタネの発芽に寄与しない学習、あるいは、発芽した知識のタネに関係ない学習と見なせる。 $\bar{K}$ は、 $K$ に該当しない時点、すなわち、知識レベルの学習が生起していない時点である。

フィールドノートに記載されたトピックの情報に基づき、ある時点の学習行動が  $I$  と  $\bar{I}$  のどちらに該当するかを、学習内容の時系列生起情報として記述する。また、それとは独立に、活動マップに記載されたトピックの情報に基づき、ある時点の学習行動が  $K$  と  $\bar{K}$  のどちらに該当するかを、学習内容の時系列生起情報として記述する。S2の手続きによって、学習状況の時系列生起情報は、学習者の物理的な行動の状況（一定滞留行為など）だけでなく、彼らの知識状況（興味レベルでの表層的学習、知識レベルでの学習など）を含むこととなる。たとえば、図6において、時刻  $T0 \sim T1$  は、重要学習、興味レベルの学習、知識レベルの学習がいずれも生起していない時間である。 $T1 \sim T2$  の間、重要学習と同時に興味レベルの学習が生起しているが、知識レベルの学習は生起していない。このことから、この間、学習者は観察、知識交換、複合観察のいずれかの学習活動を行っているものの、その学習活動の質は、表層的であり、興味レベルの学習にとどまっていると推察可能となる。一方、 $T4 \sim T5$  の間、重要学習と知識レベルの学習が同時生起していることを確認できる。すなわち、この間、表層的な学習ではなく、知識のレベルで学習活動が推移していると、推察可能となる。

**S3.** ある学習者  $L$  において、 $I$  の総時間量と  $\bar{I}$  の総時間量の和は、 $L$  が実際に重要学習を行った総時間量である。同様に、学習者  $L$  において  $K$  の総時間量と  $\bar{K}$  の総時間量の和は、 $L$  が実際に重要学習を行った総時間量である。S3の手続きでは、各空間領域での学習内容を分析することで、興味レベルの学習、知識レベルの

学習の空間的な生起傾向を分析する。たとえば、どのような知識のタネについての学習が、各空間領域でどの程度の時間量生起し、また、各空間領域における滞在時間量に対してどの程度の時間割合を占めたのか、を分析する。同様に、知識のタネの発芽につながった学習が、各空間領域でどの程度の時間量生起し、また、各空間領域における滞在時間量に対してどの程度の時間割合を占めたのか、を分析する。

以上によって、体験と知識の両面から実世界学習の多様性を表現した定量的指標を、それぞれの空間領域ごとに生成する。

## 5. 評価

### 5.1 目的

2010年3月、京都大学上賀茂試験地の一部 ( $130 \times 50$  m) において、15人の一般被験者 (20歳代; 男性8人, 女性7人) を対象に環境学習実験を実施した。実験場所は、図7を参照されたい。実験目的は、実際のデータ分析をもとに、提案手法の有効性を示すことである。

### 5.2 方法

**1. 体験学習** 自然環境の中での体験学習をグループ学習形式 (3人1組; 男女混合) で実施した (1時間)。タスクは、「自然環境の中を自由に探索し会話しながら、自然の中における現象の性質、成り立ちなどに関する仮説を立てて、その仮説を協同して検証すること」とした。学習者は、体験学習時に興味を持ったことを、その場でフィールドノート (グループ共有) に書き出す。タスク実行の際は、どこで何に注目し、どのような内容についていかに取り組むかを、学習者自身が決定してよいこととした。これは、画一的な学習ではなく、多様な学習を許容するために設けたタスク設定上の工夫である。体験学習時、各学習者に自律航行センサー、ウェアラブルカメラ、マイクロフォンを装着させた。実験者が離れた位置から学習者を追跡し、学習者の行動をビデオカメラ2台で記録した。

**2. 外化作業** 体験学習の直後の作業として、体験学習で得た知識を教室で外化する作業を、各学習者に求めた (50分)。タスクは、「今回の体験学習で得た知識を、各学習者が、できるだけそのままの形で (新たな知識を事後に追加せずに)、活動マップに書き出すこと」とした。2.2節に示したように、協調学習に参加していても、実世界の情報をいかに知識に昇華できるかは、個人差がある。そこで本研究は、外化作業を、各学習者の個人作業として求め、体験学習時のグループ構成員と相談することは認めなかった。

このように得たデータに対し、4章で提案した手法を適用し、秒精度で分析した。信頼性の高い分析のために、音



表 1 生じたトピックの例  
Table 1 Examples of learning topics.

- ・ マツボックリの種類
- ・ マツボックリができる理由
- ・ マツボックリの役割
- ・ マツボックリの落下範囲
- ・ 実の大きさと木の種類の関係
- ・ マツの実と生息地域の関係
- ・ コケの状態 (日陰/日向)
- ・ コケの活性化条件
- ・ コケと森林との関係
- ・ キノコの生育条件
- ・ キノコとコケの共生関係
- ・ 木の上にコケが生える理由

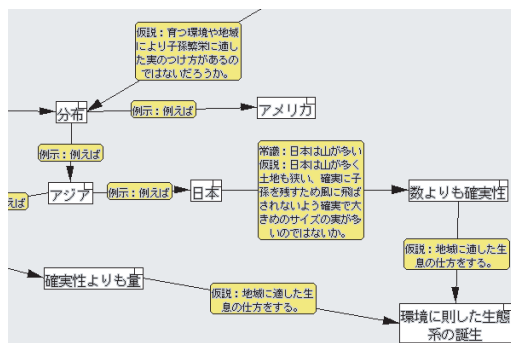


図 9 活動マップの一部 (実際に学習者が作成したデータ)

Fig. 9 A part of the activity map drawn by a learner.

声・映像記録 (各グループごとにビデオカメラ 2 台, ウェアラブルカメラ 3 台, マイクロフォン 3 台) を, 人手で注意深くすべて確認し, 学習活動の時系列生起データを生成した (計 14.6 時間分). このデータには, 正確な時刻情報とともに, 移動行動, 居場所 (10 × 10m 粒度), 学習におけるトピック, 各時点における学習内容がフィールドノートや活動マップに外化された内容が否かなどを記述し, 分析に用いた.

### 5.3 結果

今回の体験学習で生じた学習トピックは, 学習者全体で総数 142 種類だった. 表 1 に, 生じたトピックの一部を例示する.

#### 5.3.1 活動マップ

図 9 は, 学習者が実際に作成した活動マップの一部であり, 植物の種子散布に関する戦略が, 個々の生態系に即した形で進化したという考察とその過程を記述している. 従来の概念地図法 [26] では, 分析者が多様な学習の形成過程に関してその詳細を読み取るには限界があったが, 提案手法では, 付与された属性情報によって知識活動の過程を読み取ることができ, 判別困難な知識活動は非常に少なかった. また, 「常識」の属性情報によって, 学習者が学習前から持っていた背景知識と, 学習者が体験学習によって新規

に見出した知識を区別できた.

体験学習の後に, その体験を補完するために行う事後学習は, 有効な学習支援方法である [3]. しかし, 本研究の活動マップは, 事後学習のためのツールとしては位置づけていない. 本研究における活動マップの役割は, 活動マップを書く事後に新しい知識を発見させることではなく, 体験学習時に得た情報や知識をできるだけそのまま写し取ることである. そこで, 活動マップに外化された内容が, 実際に体験学習中に現場で得られた内容である程度を, 図 8 のように音声・映像記録を参照して, 分析した. ここで,

「体験中生起トピック割合」 (%)

$$= \frac{\text{活動マップに記載され, かつ, 体験学習中に学習する様子を記録から確認できたトピック数}}{\text{活動マップに記載された有効トピックの総数}} \times 100$$

を求めた. ただし, 常識, 例示は, 学習者の事前知識を明確化するための属性情報であるため, 分析から除外した. 体験中生起トピック割合は 79.3% (観察 85.1%, 発見 96.9%, 仮説 73.9%, 検証 87.1%, 疑問 44.4%) と, 全般に高かった. すなわち, 「活動マップに記載されているが, 実際に学習が生じたかどうかを確認できないもの」, すなわち, 「体験学習中に現場で得られた知識ではなく, 体験学習終了後に活動マップを作成する際に新しく生じた可能性のある知識」は少ないことが示された. これにより, 活動マップが本研究の目的に整合した手法となっていることを確認した. なお, 疑問は, 発話をともなって表出されない場合があり, 体験学習中に現場で生じた疑問か, あるいは活動マップを書く際に生じた疑問かを, 外部から判断しにくい場合が多く, 値が若干低かった.

#### 5.3.2 学習の場で生起する学習内容の多様性

実世界学習の場は, 単に体験ができる場であればよいというわけではない. 1.2 節に示した学習の多様性を重んじる観点からは, 実世界学習の場は, 画一的な学習ではなく, 多様な学習行動を許容し引き出す空間でなければならない. 今回の体験学習では, 学習者全体で総数 142 種類のトピックが確認された. 2.2 節において, 実世界学習の場が, 空間全体として多様な物理情報を持ち, 多様な情報獲得を通じた学習を支えることを述べたが, 本分析によって, 今回の学習の場が, 実際にそのような性質を備えたことを確認した.

また, フィールドノートに記載されたトピック, すなわち, 各グループが情報として見つけた知識のタネのトピックは, 平均 19.0 種類だった. 一方, 活動マップに記載されたトピック, すなわち, グループ学習で取り組んだ活動の結果, グループの各員が自分の知識として整理できた「発芽した知識のタネ」のトピックは, 平均 11.2 種類だった. すなわち, 興味を持ったものの知識獲得に至らなかった事象は, フィールドノートに記録されるが, 知識として整理

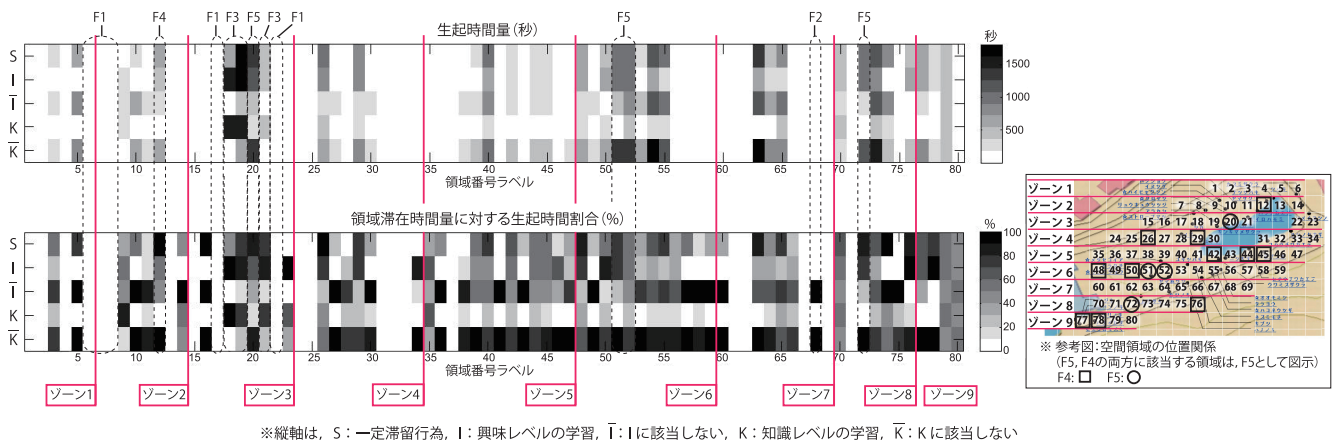


図 10 各空間領域における活動の生起時間量 (上図), および, 領域滞在時間量に対する生起時間割合 (下図)

Fig. 10 Time amount of activities at each region (top figure). Percentage of the time amount of activities to stay time at each region (bottom figure).

されないため, 活動マップには記載されないことが多かった。よって, フィールドノートと活動マップの差を手がかりに, 学習者の未獲得知識を抽出できるという見通しを得た。

### 5.3.3 多様な知識獲得における共通性と個別性

活動マップに知識として記載されたトピックにおいて, 複数の学習者間で共通性のあるトピックは 57.1%, 複数の学習者間で共通性のない個別のトピックは 42.9% だった。すなわち, 学習者が得る知識には, 学習者間における共通性と個別性の両方があることを 2.2 節で述べたが, 今回の分析によってこのことを実際に確認した。この結果から, 学習者の共通性だけに焦点を当てた分析では, 学習者の個別性という, 多くの貴重な学習機会が分析対象から外れることが分かる。また, 多くの学習者が等しく興味を持つような学習内容 (皆の一般的な関心) だけに焦点を当てて学習支援を行った場合, 学習者が個別に持つ多くの関心を支援対象とできないことが分かる。「多様性をともなう学習を支援するためには, 共通性と個別性の両面から学習という現象を理解する新しい方法論が必要である」という本研究の基本的な主張に関して, その妥当性が, 今回の分析結果で示された。

### 5.3.4 学習内容と場所の対応関係

今回の実験対象場所に領域は 80 地点あるが, 1 つのトピックは, 平均 1.71 地点 (標準偏差 1.59) で扱われ, 2 地点以下で扱われたトピックが大部分 (全体の 87.1%) である\*2。すなわち, 各トピックは, その内容を学ぶことができる特定の少数領域において, 学習される傾向が強かった。また, 1 つの領域で学習されるトピックの数は, 平均 2.16 個 (標準偏差 2.77) と少数であり, 4 個以下のトピックが扱われた領域が大部分 (全体の 83.8%) である。すな

わち, 各領域においては, その場所特有の, 少数の限定的なトピックが学習される傾向が強かった。このことは, 今回の実世界学習の場においては, 1 つの場所は少数の学習内容と紐付いて (対応して) おり, 1 つの場所において数多くの異なる状況が生起しない可能性を示唆している。いいかえれば, 実世界学習は全体を通して多様な活動がなされるが, 実世界の各場所でなされる学習内容を個別に見た場合, 各場所で生起する学習内容は多様ではなく少数に絞り込まれる可能性を示唆する分析結果が, 今回の実世界学習の場において得られた。本分析は, 場所ごとの物理情報の個別性, 場所ごとの学習状況の相違に着目して, 学習者の知識活動の状況を分析することで, 今回の学習の場における多様性の構造を確認できる分析的な見通しを得た。

### 5.3.5 各空間領域における空間特性の抽出

図 7 に示した各空間領域ごとに, 以下の値を算出した。ただし, 学習者が単に領域を通過するだけのときは, 領域滞在時間量が極端に少ないため, 分析対象外とした。

- 各空間領域における, 学習者の滞在時間量。
- 各空間領域における, 一定滞留行為 (重要学習) の生起時間量。
- 各空間領域において, トピック (知識のタネ, および, 発芽した知識のタネ) のそれぞれについて学習された時間量。

図 10 上図は, 各空間領域における, 各活動の生起時間量 (秒) を, 白黒の濃淡で示す。値のスケールは右端カラーバーに示されており, 図の閲覧性を考慮して, 10 段階で値を表示している。縦軸は, 活動のラベルであり, 上から順に, S (一定滞留行為), I (興味レベルの学習),  $\bar{I}$  (I に該当しない), K (知識レベルの学習),  $\bar{K}$  (K に該当しない) である。横軸は, 空間領域の番号を示すラベル情報である。一方, 図 10 下図は, 各活動の生起時間量が, 各空間領域における総滞在時間量に対して占めた時間割合, す

\*2 音声・映像記録から生起場所を特定できなかったトピックは, 分析から除外。

表 2 空間特性の典型的なパターンの総例

Table 2 An example of typical patterns of spatial characteristics.

[学習に寄与しない空間領域]	
F1	その空間領域における滞在が確認されず、学習者が単に通過するなど、学習に対する寄与の小さい場所
F2	学習者はその空間領域に滞在はするものの、一定滞留行為はされず、知識のタネも得られず、知識にもならない場所
[学習に寄与する空間領域]	
F3	学習活動の活発さや学習者の興味に関して、その程度が高く、また、知識も得やすい場所
F4	学習者は一定滞留行為を行い、知識のタネを獲得するものの、知識に昇華しにくい場所。すなわち、未獲得知識を多く含む重要領域
F5	空間領域全体を通して一定滞留行為の生起時間量が多く、学習者は多くの知識のタネを獲得するものの、知識に至りにくい場所。すなわち、未獲得知識を多く含み、空間領域全体の中で特に重要な領域

なわち、各活動の生起時間割合 (%) を、白黒による 10 段階の濃淡で示す。縦軸と横軸は、図 10 上図と同じである。

図 10 の閲覧性を考慮して、実世界学習の場における各空間領域の位置関係を、参考図に再掲した。また、空間領域における横方向のまとまりによって、実世界学習の場をゾーンに分けて、参考図に示した。図 10 の内容を、領域番号およびゾーン番号をキーにして位置と対応づけると、どのような空間特性を持つ空間領域が、実世界学習の場においていかに分布するかを一覧して把握できる。

図 10 上図を用いて、一定滞留行為、 $I$ 、 $K$  の生起時間量が、いずれもカラーバーの最大値に近い領域に着目すると、領域 19 を見つけ出せる。このような領域は、学習に中心的役割を果たした空間領域である。また、 $I$  と  $K$  の各生起時間量が相対的に多い領域に着目すれば、領域 18 など、学習の核となった空間領域を抽出できる。一方、一定滞留行為、 $I$ 、 $\bar{I}$ 、 $K$ 、 $\bar{K}$  の生起時間量がいずれもほとんど確認されない領域に着目すれば、領域 6~8 など、ほとんど学習が生起せず学習にはほぼ寄与しない空間領域を抽出できる。本研究は、多様に行われる学習においても多くの学習者に共通性が認められる場所として、このような空間領域を分析的に取り出した。

また、図 10 上図において、一定滞留行為、 $I$ 、 $K$  の生起時間量を全体的に見ると、領域 18~21 の範囲にわたる領域群をはじめとして、活性度の高い学習活動が空間的に密集して確認される領域群を見つけ出せる。ここで、こういった密集する領域群内の各空間領域において、どの程度、隣接する空間領域どうして生起トピックが共通するかを確かめた。ある空間領域で生起していても、隣接する空間領域で生起しないトピックの割合は、71.1%だった。つまり、活性度の高い学習活動が空間的に密集して確認される領域群であっても、各領域で生起した学習の内容は異なり、各領域の空間特性は独立性が高かった。したがって、この結果から、密集した領域群を 1 つのまとまりとみて、1 つの同質な空間特性を持っていると見なすべきではなく、やはり、各空間領域の特性を個別に紐解く必要があると、本研究は考える。

図 10 下図は、各空間領域がいかなる学習を引き出すものだったか、各空間領域における行動や学習の内訳を示す。一定滞留行為の生起時間割合を、領域の空間的な配置も考慮して確認すると、実世界の各空間領域における学習者の振舞いは同等ではなく、一定滞留行為が領域滞在時間の多くを占める場所と、そうでない場所があることが分かる。すなわち、実世界学習の場には、重要学習が確率的に生じやすい場所と、そうでない場所がある。

実世界学習の場は、学習に寄与する空間領域と、ほとんど寄与しない空間領域の 2 つに大別でき、それぞれに対して典型的な空間特性の例を表 2 に示した。各領域の空間特性は、各領域における、各活動の生起時間量および生起時間割合の実際の値をもとに、次のように抽出した。まず、F1、F2 は、学習にほとんど寄与しない空間領域の典型的な空間特性である。

**F1.** 領域滞在時間量に対して、一定滞留行為、 $I$ 、 $\bar{I}$ 、 $K$ 、 $\bar{K}$  の生起時間割合がすべて 0% である地点に着目することで、「その空間領域における滞在が確認されず、学習者が単に通過するなど、学習に対する寄与の小さい場所」(21 地点; 26.3%) を抽出できる。

**F2.** 領域滞在時間量に対して、一定滞留行為の生起時間割合が無視できる程度(今回、5%未満)で、かつ、 $I$  と  $K$  のいずれの生起時間割合もあまり確認されない(今回、30%未満)空間領域に着目することで、「学習者はその空間領域に滞在はするものの、一定滞留行為はされず、知識のタネも得られず、知識にもならない場所」(5 地点; 6.3%) を抽出できる。

一方、F3、F4、F5 は、学習に寄与する空間領域の典型的な空間特性である。

**F3.** 領域滞在時間量に対して、一定滞留行為の生起時間割合がある程度確認され(今回、30%以上)、かつ、 $I$  と  $K$  の生起時間割合が多い(今回、50%以上)に着目することで、一定滞留行為がある程度生起し、かつ、知識のタネの獲得につながった学習、知識の外化につながった学習が領域滞在時間中に多く生起した空間領域を抽出できる。すなわち、「学習活動の活発さや学

習者の興味の程度が高く、また、知識も得やすい場所」(7地点;8.8%)を抽出できる。先に示した地点18,19に関して、図10下図を読み解くと、両地点がF3に該当することが分かる。

**F4.** 領域滞在時間量に対して、一定滞留行為とIの生起時間割合が多い(今回、50%以上)ものの、Kの生起時間割合が少ない(今回、50%未満)領域に着目することで、「学習者は一定滞留行為を行い、知識のタネを獲得するものの、知識に昇華しにくい場所」(15地点;18.8%)を抽出できる。F4は、未獲得知識を多く含む重要領域である。

**F5.** F5は、行動生起時間量と、領域滞在時間量に対する行動生起時間割合をあわせて解釈することで抽出できる。具体的には、F4の空間特性を持つ領域の中から、一定滞留行為の生起時間量が多い順に抽出すると、「空間領域全体を通して一定滞留行為の生起時間量が多く、学習者は多くの知識のタネを獲得するものの、知識に至りにくい場所」を抽出できる。F5はF4の一部であるが、未獲得知識を多く含み、空間領域全体の中で特に重要な領域である。今回は、F4の中から一定滞留行為の生起時間量の順に上位4地点(全空間領域80地点の中で上位5.0%)を、F5と見なした。

以上、提案手法によって、学習者が実世界学習の場に存在していても、彼らが行う一定滞留行為や学習の内容は、各空間領域ごとに様々な特徴があることが分かった。また、場所ごとにそこでなされる知識活動の状況は異なり、各空間領域が学習に貢献する程度は同等でないこと、すなわち、個別性の高い空間特性を、今回の実世界学習の場において示した。また、F4, F5の空間特性を持つ空間領域の分布を参考図に示したが、このような重要性が高い空間特性を持つ空間領域は、実世界学習の場における1カ所に集中しているのではなく、空間的に分散して存在していたことが確かめられた。

本研究は、学習者が実世界で自律的かつ主体的に活動することを重視する。したがって、シナリオにそって学習者を誘導する従来アプローチよりも、はるかに多様な状況に学習者は身を置くことになる。実世界でのボトムアップの知識創造において何に着目してどのように多様性を扱えばよいのか、その方法論の検討は、教育研究における重要課題である。提案手法は、実世界学習の場においてボトムアップ的になされる多様な知識活動に関して、その空間的生起特性を定量的に解析し、場所と知識状況の関係性を描き出せることを示した。提案手法によって、実世界を有効に活用した学習支援が可能となる。たとえば、空間特性の分布情報を、コンテキストウェアシステムを駆動する核として組み込むことで、実世界学習の場が多様であっても、各場所に固有の性質に適応した学習支援サービスを実現することにつながられる。

## 5.4 考察

本研究は、教育者などがトップダウン的に学習支援戦略を決定するのではなく、学習者にとって何が有益で、何を学習させるべきかを、学習時における実際の活動データから抽出すべきと考える立場である。実世界のどこに何があり、何が重要な学習素材かなど、実世界に対してトップダウン的に価値を付与した事前知識を、本研究は使わなかった。本研究は、学習者が実世界といかに相互作用し、その結果どのように知識を得るかに着目した点に、特徴がある。そして、実世界行動と知識獲得の関係性を空間的に分析することで、多様な空間特性を持つ実世界学習の場が、学習に与える貢献を、実際の行動データからボトムアップ的に抽出し、実世界における知識のタネの分布地図を作る方法論を示した。実世界学習の分析で、このような視点はこれまで提案されておらず、視点そのものが新しい試みである。また、このような新しい分析の方法論から導出されるデータは、これまで確かめることができなかった知見をもたらすし、学習という現象の理解にいつそう迫ることができる。

今回の実世界学習の場では、多様な知的活動(15人による学習の結果として、142種類のトピック)が生起し、それらのトピックは必ずしも学習者間で共有されていなかった。このことから導かれることは、実世界学習の場で可能な学習シナリオは膨大であり、事前に完全に定義することは困難であるということである。いいかえれば、共通性と個別性に焦点を当てて、実世界学習における多様性の構造を理解する方法論が、重要であり、また、必要であることを立証している。皆の一般的な関心に基づく学習、すなわち、学習者の共通性だけに焦点を当てた場合、学習者が持つ個別の関心という多くの貴重な学習機会を、分析や支援の対象から漏らしてしまうことを定量的に確かめた点が、まず、従来研究にない成果である。

今回の実世界学習の場を対象とした分析では、実世界学習は多様になされるが、得られる行動、知識の程度や質が、場所と関連することを示唆する結果を得た。そして、場所情報を手がかりにして、実世界学習における多様な状況をとらえるための仕組みを、提案手法は提供した。また、提案手法による分析は、実世界には、場所ごとに固有の知識のタネが埋め込まれており、それぞれの場所が学習に寄与する程度が異なることを示した。たとえば、「一定滞留行為の生起時間量が多い場所」という情報から、「学習者が重要学習を多く行った、実際の場所」を抽出した。また、今回の実世界学習の場には、興味を持って熱心に観察、調査、議論すれば十分に理解できる場所がある一方で、このように取り組んでもその場では十分に理解しにくく、知識に結びつきにくい場所があることを示した。図10は、実世界学習の場が引き出す知識活動がいかに多様かを、実際のデータから描き出した縮図である。学習素材である知識のタネは、空間全体に分散してあまねく存在する(遍在)

が、空間的に均等に存在するのではない(偏在)ことが、読み取れる。従来このようなデータを整備するための手法はなく、提案手法は、場所と知識活動の関係に関する基礎データを蓄積するための仕組みを新たに実現した。

本研究は、今回の実世界学習の場において、知識のタネが偏在・遍在することを実証的に示しただけではない。提案手法は、多様性を内包し、空間的広がりを持つ実世界学習の場において、各空間領域が学習に与える貢献を、場所と空間特性の対応リストとしてコード化するという、実世界学習の場を構造化して知識化するための新しい方法論を示している。この構造化においては、「実世界学習の場のどこに、どのような形で、知識のタネが分布するのか」という観点だけでなく、「それぞれの空間領域における知識のタネは、学習者にとって、知識として得やすいものであるのか否か」という知識獲得の困難度の観点からの情報が含まれる。これが、提案手法の大きな特徴である。実世界学習において、学習者は実世界と相互作用しながら知識獲得を行うが、たとえ知識のタネが存在する場所であっても、学習者にとって分かりきった場所に対して、積極的な学習支援を行う意義は薄い。知識獲得の困難度に関する情報は、学習支援サービスの選択的投資を行う際など、実世界学習の支援に対してより効果的な戦略を立案・実施するために役立てられる。

提案手法は、知識獲得の困難度を定量化したうえで、実世界学習の場の空間特性を体系的に把握可能とするという、従来提案されていない分析手法である。図10の各値は定量データであるため、各値をスコア化すれば、各領域の空間特性を定量的に記述することは容易である。このような定量的知識を、工学的な学習支援システムを駆動するためのコアとして組み込むと、たとえば、次のような新しい学習支援が実現される。

- (1) リアルタイムセンシング技術によって学習者の滞在地点を解析する。そして、発見的知識の多い領域を訪れているのに、学習者がその面白さに気づいていない(十分な時間量の一定滞留行為を生起させない)場合、その場所での観察、調査、議論が不十分と見なし、学習を活性化させるための実時間支援を、携帯型情報端末を介して行う。また、学習者の移動履歴を解析し、多くの学習者が未獲得知識を多く残す場所のうち、学習者が未体験の場所への訪問を促し、学習者が気付きを得ることを実時間で支援する。たとえば、理解が難しい知識のタネを多く含む空間領域において、学習者に多様な解法を考えさせ、具体的な実際の行動(観察行動など)を誘発する。
- (2) これまでに、重要学習時の体験情報をセンサ情報をもとに抽出し、事後学習教材としてマルチモーダルに再構成することで、内省を通じた気付きの効果を与えられることが、分かっている[3]。提案手法が抽出可能と

した重要な空間領域に関する情報は、体験学習中の実時間支援だけでなく、事後の学習支援においても有効に活用できる。たとえば、事後学習時に重点的に振り返るべき体験情報を決定する際に使用し、体験教材の自動的な構成に活用できる。

- (3) 今回の分析を少し拡張して、「興味行動の共起関係が学習者間で少なく(学習者の個別性が高い)、かつ、活性度の高い学習活動がなされる場所」を抽出すれば、着眼点や感性の鋭い少数の学習者のみが見出し、発見的知識の多い場所を取り出せる。多様な学習の個々に焦点を当て、別の学習者に学習を促せば、新しい視点、学習行動、発見を促せるだろう。このような多様性を萌芽とした学習支援は、(1)のような状況を考慮した実時間学習支援においても、(2)のような体験の振り返りを通じた事後学習支援においても、有効性が期待できる。

すなわち、提案手法によって、学習者が特に焦点を当てるべき場所に対して、システムティックな学習支援を重点的に計画し、実世界を有効に活かした学習支援が可能となる。実世界学習の場を詳細に知るための提案手法は、多くの応用を実現する際にその基礎知識を与えるものとして、寄与が見込める。

本研究は、場所情報に注目することで、多様性を考慮した適応的な学習支援サービスの実現に向けて基礎成果をあげた。なお、生起行動に関し場所的特性がある実世界は、実世界学習の場だけでなく、オフィスや病院など他にも多くあると考えられる。たとえば、オフィスでは、歩く場所、机で働く場所、椅子に座って休む場所など、物理的な行動(歩行、デスクワーク、休憩)と対応づけられた空間領域の役割がある[23]。また、病院では、1つのフロア(38×25m)においても、場所ごとに物理的な行動(与薬、注射、手術補助など)の生起傾向が異なることが分かっている[24]。高度医療サービスが行われる病院を例に出すまでもなく、実世界は、種々の知的な協調活動を媒介する場である。今後、実世界における他の協調活動の場を対象として、知識活動の空間的生起特性を調べる際にも、本研究が提示した基礎的な考え方や分析技術を応用できると期待される。別の場に対する適用実験を実施して、提案手法の応用可能性をさらに示すことも大切であり、今後、視野に入れて検討したい。

不自然なルールによって、多様性を集約あるいは無視することは、その学習プログラムの生産性を大きく低下させる[5]。学習の多様性を保証するためには、学習における多様性を統合するのではなく、多様性を維持したまま、しかも破綻せず、新しい知識構造の秩序に至ることを支援しなければならない。このような難しさをふまえ、多様性を萌芽としたより良い相互作用の発生を、実世界学習において計画するためには、その基礎として、多様性を工学的に扱

い、実世界そのものに対する仮説、知見を分析的に抽出するための方法論の確立が重要である。提案手法は、今回の実世界学習の場においてボトムアップになされる知識活動に関して、その多様性の内容を紐解くことができた。今後、提案手法の基本的な考え方を礎にして応用が広がり、新たな実践や分析技術が創出・展開されることが期待される。

### 5.5 今後の課題

実験実施や分析の省力化・自動化は、分析技術の運用を助けると期待される。まず、現状で、一定滞留行為をセンサーデータから検出することで、実世界における重要学習の生起は自動推定できる。一方、学習者の視界や発話は、ウェアラブル型のカメラ・マイクロフォンで記録されているが、本研究では、学習行動の詳細かつ正確な分析のために、実験者が操作するビデオカメラによる記録を併用した。今後、十分な画質と画角のウェアラブルカメラを用意すれば、実験者のビデオカメラを省略し、実験実施コストを下げられる可能性がある。

また、正確な分析のために、本研究は、学習者を撮影したビデオ映像を目視して、学習者の位置を特定した(粒度:  $10 \times 10$  m)。現状、小型軽量のGPS受信器を用いた単独測位には5-20m程度の測位誤差があるが、今後、準天頂衛星システムの運用[31]や、測量用GPS受信器が小型化すれば、測位精度が向上するだろう。高精度測位技術の活用によって、本研究の分析の省力化・自動化が期待できる。

一方、体験学習時に、小型携帯端末によって、タイムスタンプを自動付与した形で電子メモをとれるようにすれば、知識のタネの獲得過程を時間軸に沿って記録できる。これは、学習活動の時系列生起データを生成する作業を、簡略化する効果を見込める。また、意味ネットワークにおいて単文程度にテキストが細切れとなり、かつ、共参照関係が明示されていれば、詳細な意味構造を自動的に求められるとされる[28]。今後、このような技術の併用で、活動マップ分析の省力化・自動化も期待できる。

## 6. まとめ

様々な空間特性を持つ実世界における学習を、効果的に支援するためには、多様性の中での知識活動という現象を理解するための新しい分析技術が必要である。本研究は、教室学習とは異なる実世界学習の特徴として、学習者の身体的振舞いや相互作用、実世界の場所に着眼した。そして、空間的広がりを持つ実世界学習の場において、それぞれの空間領域が、いかに学習者の多様な知的相互作用を引き出すかを、学習者の行動や知識状況をとらえたデータから明らかとする分析技術を提案した。

提案手法は、多様な知的活動が、実際の実世界学習の場で生起することを示した。そして、知識獲得の内容が学習者間で必ずしも同一でないことから、実世界学習の場で可

能な学習シナリオは膨大であり、事前に完全に定義することは困難であることを示した。これは、共通性と個別性の両面から実世界学習の多様性の構造を理解する方法論が、重要であり、また、必要であることの証左である。

提案手法は、実世界でなされる学習が多様であっても、その内容は場所に依存する傾向が高いことを示し、場所ごとの物理情報の個別性を示した。そして、場所情報を手がかりに学習状況をとらえることで、実世界学習の場における各領域がいかに知的相互作用を引き出すか、実世界学習の多様性の縮図を描き出すことができた。提案手法は、今回の実世界学習の場において、実世界に知識のタネはあまねく存在する(遍在)が、空間的に均等に存在するのではない(偏在)ことを、データから示した。生起行動に関し場所的特性がある実世界は、実世界学習の場だけでなくオフィスや病院など他にも多くあると考えられ、本研究は、他の協調活動の場における知識活動を分析するための基礎検討としても意義がある。

本研究は、多様性を工学的に扱い、新しい工学応用を創出することを見据えた基礎検討である。提案手法は、実世界における多様な学習状況を、ユビキタスセンシング技術、知識外化技術によって、体験と知識の両面から相補的にとらえる。そして、提案手法は、知識獲得の困難度の観点から、実世界学習の場の空間特性を明らかとする。提案手法が持つこのような特徴によって、学習者が特に焦点を当てべき場所に対して、システムティックな学習支援を重点的に計画するなど、実世界をより有効に活用した高度な学習支援が可能となる。提案手法は、学習者と実世界における相互作用を、より効果的な形態へと再設計する際の礎となる分析手法である。提案手法は、実世界に対する見方やアプローチに気付きを与え、多様性の中で新たな実世界知識を獲得させるための技術につながる。

**謝辞** 実験実施、データ整理を補佐いただいた静岡大学大学院情報学研究科(当時)永富博子氏に感謝します。実験の場をご提供くださった京都大学上賀茂試験地の皆様に感謝します。本研究は、科研費若手研究(B)「学習状況の実時間センシングによる実世界学習の支援に関する研究」(22700121)による。

### 参考文献

- [1] Lave, J. and Wenger, E.: *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1991).
- [2] 水越敏行, 木原俊行: 新しい環境教育を創造する, ミネルヴァ書房, 京都 (1995).
- [3] 岡田昌也, 鳥山朋二, 多田昌裕, 角 康之, 間瀬健二, 小暮 潔, 萩田紀博: 実世界重要体験の抽出・再現に基づく事後学習支援手法の提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-D, No.1, pp.65-77 (2008).
- [4] Chu, H.-C., Hwang, G.-J., Tsai, C.-C. and Tseng, J.C.R.: A two-tier test approach to developing

- location-aware mobile learning systems for natural science courses, *Computers & Education*, Vol.55, No.4, pp.1618-1627 (2010).
- [5] Scardamalia, M.: *Collective Cognitive Responsibility for the Advancement of Knowledge*, Open Court, Chicago, pp.67-98 (2002).
- [6] 大島 純, 野島久雄, 波多野諠余夫: 教授・学習過程論—学習科学の展開, 放送大学教育振興会, 東京 (2006).
- [7] 三宅なほみ, 三宅芳雄, 白水 始: 学習科学と認知科学, *認知科学*, Vol.9, No.3, pp.328-337 (2002).
- [8] 海保博之, 原田悦子 (編): プロトコル分析入門, 新曜社, 東京 (1993).
- [9] 鈴木聡志: 会話分析・ディスコース分析—ことばの織りなす世界を読み解く, 新曜社, 東京 (2007).
- [10] Türkyilmaz, O., Alagöz, F., Gür, G. and Tugcu, T.: Environment-aware location estimation in cellular networks, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol.2008, pp.139:1-139:9 (2008).
- [11] Lester, J., Choudhury, T. and Borriello, G.: A Practical Approach to Recognizing Physical Activities, *PERVASIVE2006*, Vol.LNCS3968, pp.1-16 (2006).
- [12] Yin, J., Yang, Q. and Pan, J.J.: Sensor-Based Abnormal Human-Activity Detection, *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, Vol.20, No.8, pp.1082-1090 (2008).
- [13] Györbíró, N., Fábíán, A. and Hományi, G.: An activity recognition system for mobile phones, *Mobile Networks and Applications*, Vol.14, No.1, pp.82-91 (2009).
- [14] Kobayashi, A., Muramatsu, S., Kamisaka, D., Watanabe, T., Minamikawa, A., Iwamoto, T. and Yokoyama, H.: Shaka: User Movement Estimation Considering Reliability, Power Saving, and Latency Using Mobile Phone, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E94-D, No.6, pp.1153-1163 (2011).
- [15] 角 康之, 伊藤禎宣, 松口哲也, シドニーフェルス, 間瀬健二: 協調的なインタラクションの記録と解釈, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.11, pp.2628-2637 (2003).
- [16] 森田友幸, 平野 靖, 角 康之, 梶田将司, 間瀬健二, 萩田紀博: マルチモーダルインタラクション記録からのパターン発見手法, *情報処理学会論文誌*, Vol.47, No.1, pp.121-130 (2006).
- [17] 大塚和弘, 竹前嘉修, 大和淳司, 村瀬 洋: 複数人物の対面会話を対象としたマルコフ切替えモデルに基づく会話構造の確率的推論, *情報処理学会論文誌*, Vol.47, No.7, pp.2317-2334 (2006).
- [18] 中田篤志, 角 康之, 西田豊明: 非言語情報の出現パターンによる会話状況の特徴抽出, *インタラクション 2010*, 東京, pp.267-274 (2010).
- [19] 坊農真弓, 鈴木紀子, 片桐恭弘: 多人数会話における参与構造分析—インタラクション行動から興味対象を抽出する, *認知科学*, Vol.11, No.3, pp.214-227 (2004).
- [20] Abowd, G.D., Atkeson, C.G., Hong, J., Long, S., Kooper, R. and Pinkerton, M.: Cyberguide: A mobile context-aware tour guide, *Wireless Networks*, Vol.3, No.5, pp.421-433 (1997).
- [21] 阿部光敏, 長谷川直人, 木庭啓介, 守屋和幸, 酒井徹朗: GPS・PDAによる自然観察のための資料提示システム, *日本教育工学会論文誌*, Vol.28, No.1, pp.39-47 (2004).
- [22] 神田崇行, 塩見昌裕, 野村竜也, 石黒 浩, 萩田紀博: RFIDタグを用いた科学館来館者の移動軌跡の分析, *情報処理学会論文誌*, Vol.49, No.5, pp.1727-1742 (2008).
- [23] Demirdjjan, D., Tollmar, K., Koile, K., Checka, N. and Darrell, T.: Activity Maps for Location-Aware Computing, *6th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, IEEE, pp.70-75 (2002).
- [24] 岡田昌也, 多田昌裕, 納谷 太, 鳥山朋二, 小暮 潔: 場所ごとの重要行動の生起確率に基づく状況考慮型協力依頼手法, *情報処理学会論文誌*, Vol.50, No.10, pp.2583-2595 (2009).
- [25] Pfeifer, R. and Scheier, C.: *Understanding Intelligence*, The MIT Press, Cambridge, MA (2001).
- [26] Novak, J.D. and Gowin, D.B.: *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1984).
- [27] Quillian, M.R.: Semantic Memory, *Semantic Information Processing*, Minsky, M. (Ed.), pp.216-270, MIT Press, Cambridge, MA (1968).
- [28] 橋田浩一: オントロジーと制約に基づくセマンティックプラットフォーム, *人工知能学会誌*, Vol.21, No.6, pp.712-717 (2006).
- [29] 永富博子, 岡田昌也, 多田昌裕, 竹林洋一: 実世界学習における知識獲得状況の外化手法に関する一検討, *日本教育工学会研究報告集 JSET10-5*, pp.85-88 (2010).
- [30] 再構成型コンセプトマップ作成ソフトウェア: Reflective Mapper あんどう君, 入手先 (<http://www2.kobe-u.ac.jp/~inagakis/undo.html>).
- [31] 明神絵里花: いつでも、「どこ」が正確に一準天頂衛星初号機『みちびき』によって変わる未来, *情報処理*, Vol.52, No.8, pp.990-997 (2011).



岡田 昌也 (正会員)

2004年京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻博士後期課程修了, 博士(情報学)。(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)を経て, 現在, 静岡大学創造科学技術大学院助教。同大学情報学部兼務。実世界指向コンピューティング, CSCL, グループウェア, 位置情報の応用の研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会, ACM各会員。



多田 昌裕 (正会員)

2005年中央大学大学院理工学研究科経営システム工学専攻博士後期課程修了, 博士(工学)。同年(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)入所, 現在に至る。感性情報処理, 画像検索, 身体動作解析等の研究に従事。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会等各会員。