Vol.2011-GN-80 No.11
2011/5/20

多様な実世界学習を引き出す場の空間特性の抽出手法

岡 田 昌 也[†1]　多 田 昌 裕[†2]

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，空間的広がりをもつ実世界との相互作用を通してなされる点に特徴がある．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，実世界に他ならない．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，どのよう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．分析で，知識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．多様な知識活動を捉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ものである．

A Method of Extracting Diverse Spatial Characteristics from the Field of Real-World Learning

Masaya Okada[†1] and Masahiro Tada [†2]

Recent research on educational support acknowledges the importance of experienced-based learning in the world (i.e., real-world learning). Differently 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 confirmed that real-world knowledge was ubiquitously but unevenly distributed in the world. Our method to grasp the diversity of intellectual activities is fundamental to the effective redesign of learners' interaction with the world.

†1 静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University
†2 （株）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

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

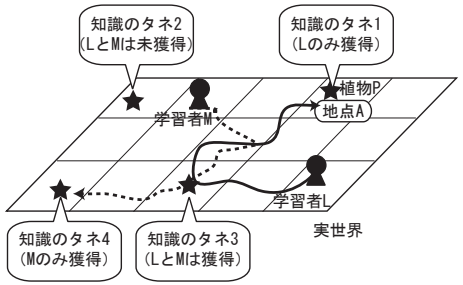

図 2 実世界の各所に内在する知識のタネを，行動により取り出す．

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)]．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環境学習（**図 1**）は，人が実世界から知識を発見的に得る（発見的学習）過程を研究する際の良い題材である．

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ており，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通りに学習者が振るまい，あらかじめ定義された教授範囲の中で知識獲得効果を高めることに主眼があった．これに対して近年，新しい知識の構築を生産的に行わせるためには，学習者のアイデアの多様性が不可欠と指摘されており[4),5)]，学習者間の協調活動によって多視点から問題を捉え直す重要性が知られる[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，互いに少しずつ違った形で表現（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[7)]．学習者の視点や理解の多様性（個人差）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，学習者が固有にもっていた実世界のとらえ方を自ら意識し，互いの差に目を向けさせる．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，気づき[2)] を与え，学習者の相互作用をさらに多様にする．学習時に得られる知識や行動の多様性を育めれば，一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．

© 2011 Information Processing Society of Japan

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盛んである．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，どのような協調活動が，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[8]．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ためのデータ分析手法の開発が基礎的な課題となる[8]．すなわち，複雑な実世界の中で多様に起こる学習を分析し，工学応用に使える知識を抽出する技術が，重要な役割を果たす．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）と個別性があることに注目したい．多様性における個別性を統計的手法によって切り捨てるのではなく，個別性と共通性の両面から，学習活動の多様性の構造分析を行う方法論は従来確立されていなかった．

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，実世界に他ならない．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，どのように多様な興味，行動，知識を引き出すか」という観点から，実世界学習の場の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，自然環境の中での環境学習を対象とする．

1.4 本稿の構成

本章では本研究の背景と課題を述べた．第 2 章で，実世界学習の多様性の内容を詳述し，その分析のためのアプローチを述べる．第 3 章で，ユビキタスセンシング，知識外化の技術によって，実世界学習の場の空間特性を抽出する分析手法を提案する．第 4 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．第 5 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どのようになされるかを概説する．地点 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，地点 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．行動（歩き回る，観察・調査する，触るなど）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，見つけた知識のタネ（情報）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．例えば，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（情報）を**発芽**させ，植物 P に関する知識に昇華できる．

2.2 多様性における共通性と個別性

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様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**）．したがって，学習者がどこで何に注目し，どのような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**）．例えば，図 2 において，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，学習者が共通して気付く情報もある（知識のタネ 3）．さらに，実世界には誰も気付かない未発見の情報も存在する（知識のタネ 2）．

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，グループ内で共有される（**グループ内における，情報獲得の共通性**）．一方，グループ活動の内容はグループごとに異なるため，獲得情報はグループ間では個別性が高い（**グループ間における，情報獲得の多様性**）．また，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・理解し知識に昇華させられるかは，各学習者の知識処理の差によって異なる（**学習者間における，知識獲得の多様性**）．

すなわち，実世界学習における知識獲得活動には，個別性と共通性が混在しており，このような多様な学習活動を分析するための技術が必要である．

2.3 空間特性情報を考慮した学習支援

本研究の課題（第 1.3 節）の解決によって実世界学習の場の空間特性が抽出できるようになれば，以下のように，実世界を有効活用した学習支援が見込める．

(1) 環境学習時の行動は，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]．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

⋆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]．

© 2011 Information Processing Society of Japan

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」（**未獲得知識**とよぶ）は，気付き[2] のきっかけになる情報である．実世界学習の場を全て一様の重要さで捉えるのではなく,「面白いが理解が難しい場所」,「未獲得知識が多く，気付きのきっかけが豊富な場所」を分析的に抽出し，その場所を中心に重点的に学習支援を行えれば，新しい視点や行動を引き出し，その結果，知識獲得を促せると期待できる．

(2) 著者らのこれまでの調査でも，多くの学習者が共通して気付く場所（多様性の中における共通性）があることを確認している．このような場所が，学習の一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（多様性の中における個別性）に焦点を当てることも重要である．例えば，興味行動の共起関係が学習者間で少ない場所，すなわち，少数の学習者のみが活発に学習した場所（学習者の個別性が高い場所のうち，活性度の高い場所）は，着眼点や感性の鋭い学習者のみが気付ける，発見的知識の多い場所とも捉えられる．このような場所を分析的に抽出できれば，別の学習者に気付きのきっかけを与えるための支援につなげられる．

2.4 課題解決のためのアプローチ

実世界指向の研究では，実世界に事前に用意された教材を，ガイドする支援が古くから提案されている[9]．従来,「ある瞬間に人がどこにいて，周辺にどのような資源があるか」を人の基礎的状況と捉えることが一般的だった[9),10]．このような場合，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，学習者は教材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．本研究は，空間的広がりをもつ場との相互作用の中でなされる実世界学習の特徴に，注目する．

特徴 1. 身体性（実世界と直接的に相互作用できる身体をもつこと)[11]，および，立脚性（自らの感覚器を通して，周りの実世界の情報を得られること)[11] 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した活動であり，学習者が実世界に対してなす相互作用が，学習を駆動するという特徴である．

特徴 2. 学習者が得る知識は学習者が置かれた状況に依存し[12]，実世界学習の場合，場所ごとに状況が違うと見なせる（第 2.2 節）．環境学習の舞台となる自然環境は，生態系というマクロシステムの中で，生き物が互いに複雑な影響を及ぼしながら，全体として一定の秩序を形成する空間である．空間全体に様々な学習素材が広がる実世界の場では，得られる行動，知識の程度や質は，場所ごとに異なると考えられる．

実世界学習の内容や過程の分析には，学習者の身体的振舞いや相互作用（特徴 1），実世界の空間（特徴 2）に着目することが有効と考えられ，本研究は，以下のアプローチをとる．

アプローチ 1. 学習者が得た情報（知識のタネ）や知識（発芽した知識のタネ）の内容（トピック）とその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. 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（アプローチ 1，2）を，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，個別性と共通性（第 2.2 節）に着目して分析し，実世界の場がもつ空間特性を明らかにする技術を開発する．

従来，多様な学習過程の理解には，相互作用をなす学習者の発話を書き起こし行うプロトコル分析やその拡張が知られる[6),13]．一方，本研究は，発話データから確認できる学習トピックの時系列的な生起と変遷，さらに，センサによる行動計測結果，知識の外化結果など，マルチモーダルなデータを用いて，実世界の空間という軸から分析する点が特徴的である．

3. 実世界学習の場の空間特性の分析手法

3.1 知識外化技術

3.1.1 知識のタネ（情報）の抽出

グループ学習はグループ構成員の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．興味をもったことを，体験学習のときに協力してフィールドノート（紙での手書きメモ，小型携帯端末によるメモなど）に書き出させ，各グループが見つけた知識のタネを把握する．

3.1.2 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[14]，学習後の知識状況を知る手法に,「学習者が，異なる概念（情報）間の関係性をどのように関連付け，構造化し，意味的なネットワークを形成したか」を，外化させる概念地図法[15] がある．概念地図法では，概念をノードとして，概念間の関係性をアークとして，書き出させる．グラフ構造に意味的制約を与えて特殊化することで，対象の意味を構造化記述する意味ネットワーク[16),17] の一種として，概念地図法を位置付ら

© 2011 Information Processing Society of Japan

れる．概念地図法[15] でノードを書き出すことは，個々の情報の外化であり，本研究はこれを知識の外化とは見なさない．一方，アークで，概念間の関係性を適切に構造化記述できれば，学習者が，異なる概念（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[15] は，学習終了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，著者らの予備実験（2009 年 12 月；一般被験者 18 名）で分かった[18]．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，すでにもっていた知識に対して，何を新規に見出したのか．
不明点 2. 概念間の関係性が，どのような活動（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，どのような所見，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．

知識のタネの発芽の有無を検証するために，本研究は，体験学習時の認知活動を体験学習後に記述させるための活動マップ（**図 3**）を提案する．活動マップは，概念地図法[15] 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 を踏まえ，知識活動の過程が明らかとなるよう，知識の属性情報（以下）をアークに付与可能とした点が異なる．

- 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仮定．
- 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フィールドノートの内容（一般被験者 90 名分）を改めて精査し，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 3 は，昆虫が高湿な場所（石の裏）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．各概念間の関係がどのような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．なお，本研究は，既存ソフトウェア[19] を，活動マップの描画ツールとして用いた．

3.2 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

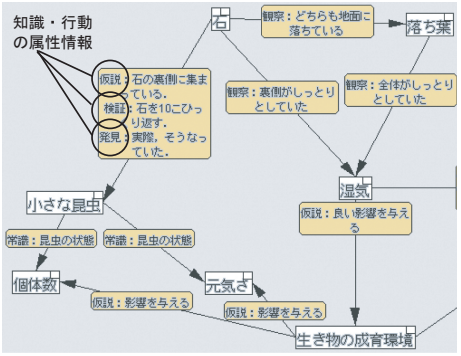

図 3 活動マップの一部（例）．

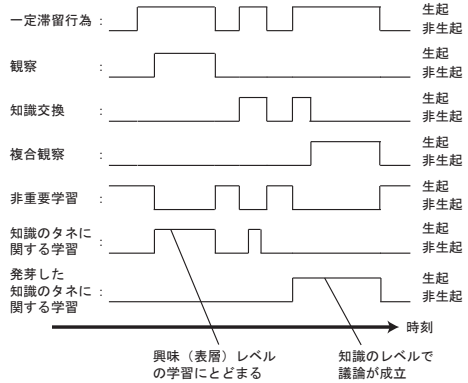

図 4 学習活動の時系列生起データ（一部）．

ら知識のタネを見つける（情報の獲得）上で，また，知識のタネを知識に昇華する（知識の獲得）上で，学習者と実世界の間の相互作用は，大きな意味をもつ．著者らは，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」（歩行と体軸方向が一定時間安定している身体状態；図 1）とよぶ，特徴的な身体動作を多く伴うことを見出した[3)]．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（再現率 93.2%，適合率 90.4%）に検出できること，また，(2) 学習者が一定滞留行為を行っていれば，その学習者は重要学習を行っていると見なせること（適合率 87.1%），を示した[3)]．本研究は，各学習者に自律航法センサ（腰部）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的生起情報を得る（**図 4**）．

また，各学習者にウェアラブル型のカメラ（頭部），マイクロフォン（口元）を装着させ，各自の視界，発話を記録する．また，学習者をビデオ撮影し，彼らの行動，発話を記録する．これらの記録から，学習者の観察，調査，議論の内容やその時系列生起情報を得る（図 4）．

3.3 知識と体験の両面からの場の空間特性の分析

実世界を一定の粒度で空間領域（**図 5**）に分割し，多種の情報（第 3.1〜3.2 節；図 4）を用いて以下のように分析することで，実世界学習の場の空間特性を抽出する．

(1) 学習者が情報として得た知識のタネを，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」を，活動マップから抽出する．
(2) 学習者が，各時点で扱っている学習内容の主題（トピック）を，ウェアラブルカメラお

© 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-GN-80 No.11
2011/5/20

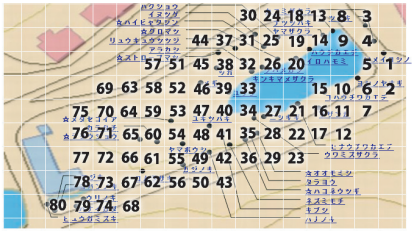

図 5 京都大学上賀茂試験地に設定した，実世界学習の場．各空間領域（$10 \times 10m$）上の数字は，地点番号．

よびビデオカメラの音声・映像記録から特定する．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．

A1. フィールドノートに外化された内容を扱う場合　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，とみなせる．

A2. フィールドノートに外化された内容以外を扱う場合　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，とみなせる．

B1. 活動マップに外化された内容を扱う場合　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みなせる．

B2. 活動マップに外化された内容以外を扱う場合　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みなせる．

ある時点の学習行動が，A1 と A2 のどちらに該当するか，また，B1 と B2 のどちらに該当するかを，時系列的な学習内容の生起情報として，記述する（図 4）．

（3）学習者の自律航法センサの情報を解析し[3]，一定滞留行為の時系列生起情報を生成する．空間領域ごとに，一定滞留行為がどの程度生起したか（時間量，領域滞在時間量に対する時間割合）を算出し，各空間領域が重要学習をどの程度引き出したか，を分析する．

（4）各空間領域での学習内容を分析することで，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．

（5）以上により，実世界でなされる学習の多様性を表現する定量的な指標が，生成できる．その結果をもとに，各学習者，各グループ，各空間領域などにおいて，どのような共通性と個別性が確認できるか，すなわち，多様な学習の構造を理解する．

4. 評　　価

4.1 目　　的

2010 年 3 月，京都大学フィールド科学教育研究センター上賀茂試験地の一部（$130 \times 50m$；図 5）において，15 人の一般被験者（20 才代；男性 8 名，女性 7 名）を対象に環境学習実験を実施した．目的は，提案手法の有効性を，実際のデータ分析をもとに示すことである．

4.2 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 名 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，自然の中の現象の性質，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．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どのように取り組むかを，学習者自身が決定してよいこととした．また，体験学習の際に興味をもったことは，その場でフィールドノート（グループ共有）に書き出させた．体験学習時，各学習者に自律航法センサ，ウェアラブルカメラ，マイクロフォンを装着させた．また，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，個人単位で実施した（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．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（第 2.2 節）．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て，提案手法（第 3 章）を適用し，秒精度で分析した．具体的には，信頼性の高い分析のために，音声・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，人手で注意深く全て確認し，学習活動の時系列生起データ（図 4）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（$10 \times 10m$ 粒度；図 5），学習行動（観察/知識交換/複合観察/非重要学習），学習内容（トピック），その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か否か，などを記述し，分析に用いた．

4.3 結　　果

4.3.1 生起トピックの多様性

図 6 は，学習者が実際に作成した活動マップの一部であり，植物の種子の散布戦略が，個々

© 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-GN-80 No.11
2011/5/20

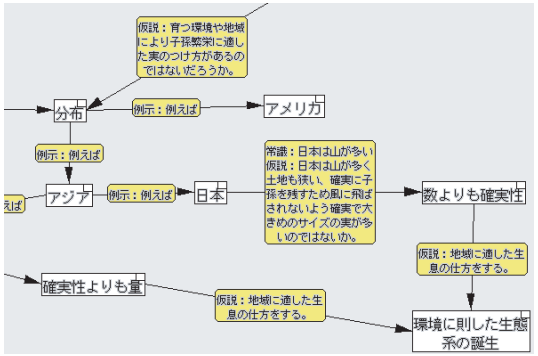

図 6 活動マップの一部（実際に学習者が作成したデータ）.

表 1 生起したトピックの例.

・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

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．

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．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．体験学習で扱われた学習トピック（**表 1**）の総数は，142 個であり，今回の学習の場が，多様な学習を引き出す場として機能したことが確認された．また，グループで見つけた知識のタネ（情報）のトピック数は，平均 19.0 個，学習者個人が自分の知識として整理できた「発芽した知識のタネ」のトピック数は，平均 11.2 個だった．すなわち，興味はも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．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ことが，本分析でわかった．

4.3.2 体験中に生起したことが確認されたトピックの割合

体験学習後に，その体験の補完の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．本研究の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現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得られた内容である程度を分析した．ここで，

「体験中生起トピック割合（%）」＝「活動マップに記載され，かつ，体験学習中に実際に学習している様子を音声・映像記録で確認できたトピック数」÷「活動マップに記載された有効トピックの総数」×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，実際に学習が生起したかどうかを確認できないもの」（すなわち，活動マップ作成時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，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，発話を伴って表出されない場合があり，体験学習中に現場で生起した疑問か，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．

4.3.3 各空間領域の空間特性の抽出

各空間領域（図 5）ごとに以下の値を算出し，多様な学習において個別性と共通性が表れる点に注目して分析した．ただし，学習者が単に地点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．

実世界で扱われる学習内容（トピック）の生起は，場所に依存する傾向が高く，1 つのトピックは，少数の場所（全 80 地点のうち多くて数点程度）で扱われた．ある 1 つのトピックにおいて主要な役割を果たす地点が少数であることは，場所ごとの物理情報の個別性（第 2.2 節）を示している．また，複数地点に及ぶ活動であっても，中心的役割を果たす場所は，1 地点程度だった．さらに，各空間領域が学習に貢献する程度は同等でなく，複数のトピックに対して支配的役割を果たす地点と，学習にほぼ寄与しない地点を確認できた．ただし，全トピックに対し支配的役割を果たす地点は確認されず，知識のタネは，実世界の特定の少数地点のみに存在するのではなく，空間的に分散して存在することが確認された．

図 7 上図は，各空間領域（横軸）における，各活動の生起時間量（秒；縦軸）を，白黒の濃淡（スケールは右端カラーバー）で示す．縦軸は，上から順に，一定滞留行為，知識のタネの獲得・吟味に関する学習（第 3.3 節 A1），知識のタネの獲得・吟味ではない学習（第 3.3 節 A2），知識の外化につながった学習（第 3.3 節 B1），外化した知識に無関係な学習（第 3.3 節 B2）である．図 7 下図は，これらの各活動の生起時間量が，各空間領域の総滞在時間量に対して占めた時間割合（%）を，白黒の濃淡で示す．図 7 上図により，今回の学習の場全体の中で，各生起時間量が相対的に多く，学習に中心的役割を果たした空間領域（例えば，地点 32），学習の生起時間量が中程度（1000 秒前後）で，各グループの学習の核と

© 2011 Information Processing Society of Japan

Vol.2011-GN-80 No.11
2011/5/20

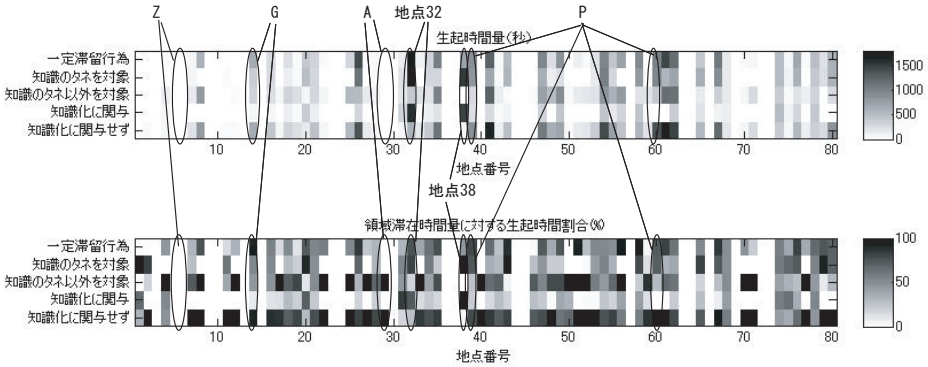

図 7 各場所における行動の生起時間量（上図），および，領域滞在時間量に対する割合（下図）．

なった空間領域（例えば，地点 38），ほとんど学習が生起しなかった空間領域（例えば，地点 1〜7）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 7 下図は，各空間領域がどのような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．例えば，地点 32 においては，一定滞留行為，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，この領域滞在時間中に多く生起するという情報を抽出できる．さらに，図 7 下図から，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，重要学習が確率的に生起しやすい場所と，そうでない場所がある．そして，ある空間領域に滞在していても，そこで行われる一定滞留行為や，学習の内容は，様々な特徴があることが分かる．例えば，「(A) 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 点；6.3%），「(Z) 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 点；26.3%）がある一方で，「(G) 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（未獲得知識を多く含む，重要地点）」（16 点；20.0%）が確認できる．また，領域滞在中の行動生起率（図 7 下図）を，学習全体での行動生起時間量（図 7 上図）をもとに解釈すると，(P)「学習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（未獲得知識を多く含む，重要地点）」，を抽出できる．これらは，実世界学習の場がもつ個別性の高い空間特性を表す結果である．

4.4 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，実世界に存在する学習者にとって何が有益で，何を学習させるべきかを，実際のデータから抽出すべきと考える立場である．本研究は，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（実世界のどこに何があり，何が重要な学習素材かなど）を，使わなかったことに，特徴がある．本研究が注目したことは，実世界学習の場の中で，学習者が環境とどのように相互作用し，その結果，どのように知識を得るかである．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，多様な空間特性をも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する方法論を示した．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．

本分析は，知識のタネは実世界にあまねく存在する（遍在）が，空間的に均等に存在するのではない（偏在）ことを示した．そして，実世界には，場所ごとに固有の知識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．例えば，「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，実世界には，興味をもって熱心に観察，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い（知識に結びつきにくい）場所があることを明らかとした．

図 7 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．図 7 の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できる．このような知識をもとに，リアルタイムセンシングに基づくコンテクストアウェア技術を開発すれば，次のような実時間の学習支援を具現化できる．例えば，(1) 学習者の滞在地点を解析し，発見的知識の多い場所を訪れているのに，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行う，(2) 学習者の移動履歴を解析し，発見的知識が多い場所のうち学習者が未体験の場所への訪問を促し，学習者に気付きを与える，などである．また，今回の分析の発展として，「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気付ける場所を取り出せる．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．

一方，著者らはすでに，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，内省を通した気付きの効果を与えられること

© 2011 Information Processing Society of Japan

を確かめた[3]．提案手法が抽出可能とした重要学習地点の情報は，このような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も使用できる．すなわち，本研究が提案した分析技術は，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．

4.5 今後の課題

分析の省力化が，今後の検討課題である．例えば，小型携帯端末による電子メモ（タイムスタンプを自動付与）を，体験学習時に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[17]．今後，このような技術の併用で，活動マップ分析の自動化も期待できる．

5. ま と め

様々な空間特性をも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，ユビキタスセンシング，知識外化の技術によって，空間的広がりをもつ実世界学習の場において，それぞれの空間領域が，どのように学習者の多様な知的相互作用を引き出すかを，データから明らかとする分析技術を提案した．また，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．多様な知識活動を捉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の礎となる．また，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永冨博子氏に感謝します．実験場をご提供下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, paperback edition (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) Scardamalia, M.: Collective Cognitive Responsibility for the Advancement of Knowledge, Open Court, Chicago, pp.67–98 (2002).
5) 大島 純，野島久雄，波多野誼余夫：教授・学習過程論—学習科学の展開，放送大学教育振興会 (2006).
6) 山崎 治，三輪和久：外化による問題解決過程の変容，認知科学， Vol.8, No.1, pp.103–116 (2001).
7) 波多野誼余夫，永野重史，大浦容子（編）：教授・学習過程論—学習の総合科学をめざして，放送大学教育振興会，東京 (2002).
8) 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).
9) 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).
10) Schilit, B., Adams, N. and Want, R.: Context-aware computing applications, *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Santa Cruz, CA, pp.85–90 (1994).
11) Pfeifer, R. and Scheier, C.: *Understanding Intelligence*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts (2001).
12) Brown, J.S., Collins, A. and Duguid, P.: Situated Cognition and the Culture of Learning, *Educational Researcher*, Vol.18, No.1, pp.32–42 (1989).
13) 森本志朗，三輪和久：階層的スキーマに基づく共同発見学習プロセスの分析，認知科学，Vol.4, No.2, pp.3–19 (1997).
14) 溝口理一郎，池田 満，来村徳信：対象モデリングの視点から見た知識表現，人工知能学会誌，Vol.18, No.2, pp.183–192 (2003).
15) Novak, J. D. and Gowin, D. B.: *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1984).
16) Quillian, M.R.: Semantic Memory, *Semantic Information Processing* (Minsky, M., ed.), MIT Press, Cambridge, MA, pp.216–270 (1968).
17) 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).
18) 永冨博子，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).
19) 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，http://www2.kobe-u.ac.jp/inagakis/undo.html.

© 2011 Information Processing Society of Japan