

協調活動名としておけるインタフェース科学の研究

(研究課題を記入する)

平成10年度共同研究費研究成果報告書

平成1999年 6月

研究代表者 楠 裕子

(所属) 多摩美術大学 情報デザイン学科

仮想世界と現実世界を統合したコミュニケーション支援システム

楠房子 多摩美術大学情報デザイン学科

杉本雅則 東京大学情報基盤センター

橋爪宏達 国立情報学研究所

概要

本研究では、思考の外化と理解の共有を支援する仮想世界と現実世界を統合したコミュニケーション支援システムについて述べる。本システムの特徴は、(1)ユーザであるこどもの参加意識を高めるために、ゲーム性を取り入れる (2) ボードゲームとコンピュータシミュレーションを連携させることにより、思考の外化と理解の共有を支援する、の2点である。小学校において、本システムの有効性の実験を行った。その結果を分析・検討

することにより、本システムの有効性が検証できた。

National Institute of Informatics

本研究の目的

近年、学習についての考え方が変わりつつあり、人間は決して一人で学ぶのではなく、互いに学び合う存在であることが指摘されている。この背景には、最近の認知科学や文化人類学の研究における状況論的学習(situated learning)や正統的周辺参加(Legitimate Peripheral Participation)の研究が盛んになったことがあげられる。すなわち、人間はコミュニティに参加し、最初は周辺の立場で学習しながらも、やがては中心的な役割を担っていくという考え方である。したがって、本研究では、学習者コミュニティへの各個人の参加、および他者とのインタラクションによる問題理解と解決が重要であるとし、そのことがコンピュータを用いた協調学習支援(Computer Supported Collaborative Learning)に有効であるかどうかを検証する。また本研究では、ゲーム性を利用することにより、学習の場への参加を学習者に動機付けるとともに、各学習者の意見の外化(externalization)を通して他者とのインタラクション、議論の活性化を支援することも目的としている。

また HCI 研究においては、コンピュータと人間という二元的な系でのインタラクションではなく、人間を取り囲む環境や人工物を含めた系でのインタラクションについて考える研究が盛んになりつつある。この背景には、知識や情報は人間の頭の中にあるのではなく、環境に埋め込まれているのだというアフォーダンス(affordance)の考え方があり、具体的には、身の周りの人工物にコンピュータを埋め込み、その人工物に対して行われる物理的な操作に応じて、我々の取り巻く環境を情報的に拡張するということが行われている。本研究は、ボードゲームとコマで構成される物理世界とコンピュータシミュレーションによって構築される仮想世界とを統合するシステムを構築し、その中で、人間とコンピュータとのインタラクションのあり方についての研究を行う。

概要

システムはボードゲームとコンピュータシミュレーションから構成されている。利用者はゲームボードを囲み、コマを自由に配置していきます。配置されたコマの種類と位置はコンピュータシミュレーションにより自動的に認識され、その配列情報を基にコンピュータシミュレーションが行われます。シミュ

レーション結果はリアルタイムでプロジェクタなどに投影され、利用者全員に提示されます。

ボードゲーム

ボードは、枰目状の構造になっており、各枰目にコマを置くことが出来る（図1）。この図でのボードおよびコマは、「都市計画と環境問題」についての学習を支援するように設定されている。

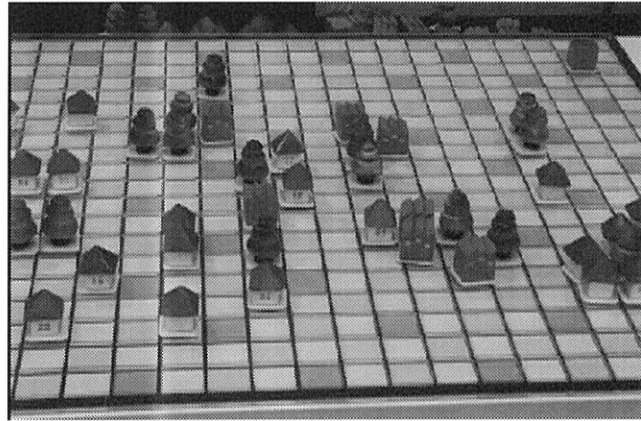


図1. ボード

物理世界と仮想世界との統合技術

コマの認識には、RFID(Radio Frequency IDentification)技術が使われている。各コマには RFID のタグが取り付けられている。一方、ボードの各枰目には、RFID のアンテナが埋め込まれている。アンテナから発生する電磁場内にタグが存在する場合、そのタグの IC に書き込まれているデータを読み取ることができる。

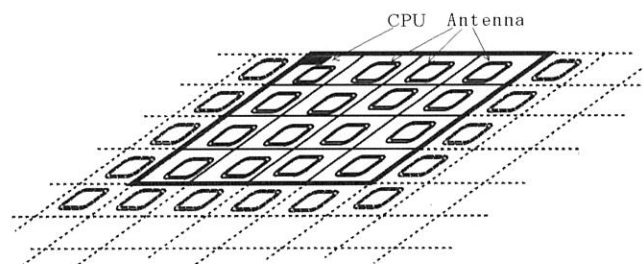


図2. アンテナ

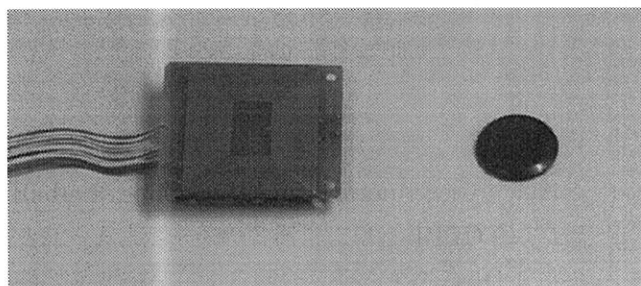


図3. R F I D

ボードの使い方

与えられた課題について学習する際、各学習者はボードゲームを囲み、

他者と相互作用しながらコマを配置する。ボード上でのコマを操作を通して、学習者は自らの意見を外化することが可能となる。また、ボード上では他の学習者の意見の外化も行われるので、各学習者の意見を共有する場としても機能する。

一方、ボードゲーム上のコマの配置を基に、コンピュータシミュレーションが行われ、その結果は可視化されて学習者に示される。それにより、ボードゲームだけでは分からなかった新たな知識を、学習者は分節、外化できる。ボードゲームとシミュレーションツールを統合的に利用することにより、意見の協調だけでなく同時に競合が起こり、各学習者の意見の外化と学習者同士の活発な議論をさらに促進させることができる。これはコンピュータだけを利用したシステムでは実現できない効果だと考える。また、システムにゲーム性を持ちこむことにより、学習者の engagement(参加意識)を高めることができる{Kafai95}。

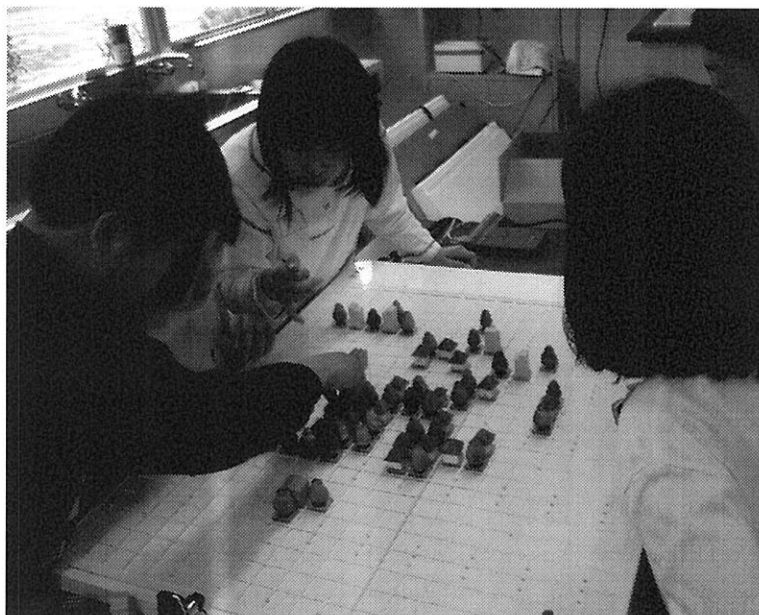


図5. 実験のようす

実験と評価

実験は2台のボードを用意(図4)し、パソコン上の画面は、プロジェクタで表示するようにした。各ボードには、PCがつながっている。画面には、2つのボードの街が1つの街としていったいとなつて表示させるようにした。

筆者らは、横浜市立の小学校5年生の男女30人に対し、本システムを用いた実験を行なった。実験は1グループ6人とし、1グループあたり、20分間で行われた(図4)。実験に参加した小学生は、教科書を通じてすでに環境問題についての学習を行っており、基礎的な知識を身につけている。実験の結果、小学生に以下のような行動が観察された。

1. ボードゲームを使用することによるアクション

- 置く位置を決めるときに何度もやり直す
- 座っている位置を変える、立ち上がる
- 合意・不同意を確認する
- 意図を確認しあう

2. シミュレーション画面を併用することによるアクション

- 初期の段階では、意見の競合が観察されたが、実験が進むにつれ、学習者同士が互い協調するようになった。
- 状況がよくないときに
-
-

事件終了後、学習者 30 人に対してアンケートに記入してもらった。

この表から分かるように、「(本システムが) 楽しかった, またやりたいと思った」

との回答を、過半数の学習者から得た。さらには、(コマの) 配置と連動して

可視化画面が変化するのが面白いと回答した学習者もいた。

これらの回答から、ゲーム性を盛り込み、ボードゲームとコンピュータ

シミュレーションとを連携させた本システムには、

学習者の参加意識を高める効果があったのではないかと考えることができる。

しかし一方では、3つのバーを表示した画面が、小学校5年生にとって適切であったかどうかを検討する必要があると考える。

この研究を行なうに当たり、システムの実験に協力して頂いた横浜市立笹野台小学校の平野成昭先生に感謝致します。

ソフトウェアおよび画面のデザインやなどに協力してくれた

多摩美術大学情報デザイン学科の梅沢美希氏, 西森郁馬氏,

曾田玲奈氏, 御厨祐平氏, 椎野康弘氏, 東京工業大学の福田進氏に感謝します。

ボードシステム開発に当たっては、オムロン株式会社, 東海ソフト株式会社の技術協力を受けました。

この研究は、科学技術事業団さきがけ研究 21「情報と知」研究助成を一部受けて行われている

文献

[Kafai95]

Y. Kafai, "Minds in Play: Computer Game Design as a Context for Children's Learning," Laurence Erlbaum Associates, New Jersey, 1995.

Kusunoki, F., Sugimoto, M., Hashizume, H.:

A System for Supporting Group Learning that Enhances Interactions

In Proc. of Computer Supported Collaborative Learning (CSCL'99) Stanford, CA, Dec 12 - 15 (to appear in 1999).

Kusunoki, F., Sugimoto, M., Hashizume, H.:

Toward the Integration of Physical and Virtual Worlds for Supporting Group Learning

In Proc. of Kyoto Meeting on Digital Cities, Kyoto, Japan, Sep 16 - 18 (1999).

Towards the Integration of Physical and Virtual Worlds for Supporting Group Learning

Fusako Kusunoki¹, Masanori Sugimoto², Hiromichi Hashizume³

¹ Tama Art University,
2-1723, Yachimizu, Hachioji, Tokyo, 192-0394, Japan
kusunoki@tamabi.ac.jp

² University of Tokyo,
7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-0033, Japan
sugi@r.dl.itc.u-tokyo.ac.jp

³ National Center for Science Information Systems,
3-29-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8640, Japan
has@rd.nacsis.ac.jp

Abstract. In this paper, we describe a system that integrates physical worlds (physical cities) and virtual worlds (digital cities), and its applications to supporting group learning. We have so far constructed several systems for supporting collaborative learning. One of the aims of CSCL (Computer-Supported Collaborative Learning) is to promote mutual learning through interactions and discussions among learners. Our previous experiments, however, have shown that these systems may not be so effective for supporting interactions and discussions at times. In order to enhance interactions further, a system should support externalization of each learner in an easily recognizable manner. Through such externalization, learners can actively collaborate or conflict with each other through discussions.

The proposed system integrates a board game and a computer simulation, is used for studying urban planning and environmental problems. Each learner externalizes and represents his/her own ideas on a board game, which allows him/her to actively participate in a learning situation and to share the representations with other learners. The computer simulation calculates and visualizes the status of the city being constructed on the board game, in terms of air pollution, water pollution, etc..

Thirty fifth-grade pupils who had studied environmental problems in school participated in the experiments. The experiments showed that our system is effective for enhancing interactions, activating discussions, and raises learners' engagement.

1 Introduction

In this paper, we describe a system that integrates physical worlds (physical cities) and virtual worlds (digital cities), and its applications to supporting group learning. We have so far constructed several systems for supporting collaborative learning [7][8]. One of the aims of CSCL (Computer-Supported Collaborative Learning) [6] is to promote mutual learning through interactions and discussions

among learners. Our previous experiments, however, have shown that these systems may not be so effective for supporting interactions and discussions at times [8]. In order to enhance interactions further, a system should support externalization of each learner in an easily recognizable manner. Through such externalization, learners can actively collaborate or conflict with each other through discussions.

The proposed system integrates a board game (physical world) and a computer simulation (virtual world) [1][14], and is used for studying urban planning and environmental problems. Each learner externalizes and represents his/her own ideas on a board game, which allows him/her to actively participate in a learning situation and to share the representations with other learners. The board game is composed of a checkerboard, game pieces ("houses", "factories", and "trees"), and geographic objects ("mountains", "rivers" and other similar elements of nature). The computer simulation calculates and visualizes the status of the city being constructed on the board game, in terms of air pollution, water pollution, etc.. In order to link between the board game and the computer simulation, Radio Frequency Identification (RFID), which is one of the object identification and data transfer technologies, is used. Tags and readers are embedded in pieces and a board, respectively, and the computer simulation can automatically recognize arrangements of pieces on the board.

When learners use the system, they first set up a board by arranging geographic objects in order to construct a city resembling their own. Each learner puts a piece on the board in turn. When he/she completes his/her move, the computer simulation visualizes the current and future status of the city. After reviewing simulation results, the learner considers what move to play next. For example, if he/she has noticed that air pollution will be a problem in future, he/she may change his/her initial idea and place a "forest" piece. Finally, when the design of the city is complete or time has run out, the computer simulation diagnoses the design of the city and points out planning problems.

Thirty fifth-grade pupils who had studied environmental problems in school participated in the experiments. The experiments showed that physical worlds (physical cities) on the board game are useful for enhancing interactions among learners, and virtual worlds (digital cities) in the computer simulation provide effective stimuli and feedback for learners' further interactions, such as their collaborations and conflicts. Consequently, our system could activate learners' discussions and raise learners' engagement [11]. The integration of the board game and the computer simulation was also successful in that both were used smoothly by the pupils. During post-experiment interviews it was determined that the usage of the system was not difficult, and was enjoyable (most of the pupils stated that they would like to play the game again).

This paper is organized as follows: In Sec. 2, the underlying philosophies and theoretical backgrounds of this work are described. In Sec. 3, the configurations of the proposed system are shown. Section 4 gives the experiments and evaluations with the system. Section 5 concludes the paper.

2 Backgrounds

2.1 Failure of Group Learning

Use of computers in today's school education has come to a transitional phase. While there is a possibility that the potential through using computers may be utilized in education, some are concerned that it may not go beyond mere information exchange [13]. Conventionally, in school education, computers were used by pupils for their individual studies, but now there is a new issue as to how to make full use of computers in a group learning environment. Devoted school teachers respond rather negatively to the importance of "learning from each other" in future education and the idea of collaborative learning supported by a computer. They know full well that the conventional "group" learning method aiming at "learning from each other" did not work and strongly feel that "individual learning" of each pupil should be more emphasized. Group learning failed because children tend to yield to the judgement or "authority" of the group in such an environment and end up "leaving matters to others", "following others blindly", "reinforcing confusion", "causing inefficiency" and "allowing high-handed behavior of a strongman", all of which are harmful effects that are likely to occur in group decision making [5].

2.2 For Effective Support of Interactions

For Supporting Information within a Group In group learning, individual members may not speak or take action with each other. As a result, they may "leave matters to others" and allow "high-handed behavior of a strongman". It is known that interactions among pupils does not increase as much as expected when computers are simply applied to school education [7] [8]. This is mainly because, among other reasons, uneven knowledge levels of individual learners are not taken into consideration in a typical group learning situation and there are differences in their ability to externalize thinking. In previous studies, we had tried to overcome difficulties caused by learners' uneven knowledge levels through active discussions and interactions induced by using computers with the view to deepening their understanding of problems and enhancing the effect of learning. This time, we developed a mechanism for facilitating externalization of thinking for any knowledge levels or persons with "heterogeneous" knowledge and designed a system that would increase interactions by focusing on the unevenness. At the same time, we incorporated games in the system [4] so that even those who are not good at externalizing their thinking can participate without feeling inept.

To maintain vigorous interactions among learners with different knowledge levels, it is necessary to keep them from focusing on the difference or comparison of each other's knowledge. This can be achieved when learners are directly involved with the authenticity of the subject instead of showing off their knowledge. In other words, it is effective when "the contents for learning are authentic". If the subject is authentic and can be represented in different ways, children feel

free to reveal their own perceptions because others would take them as unique views. This allows children to exchange opinions on equal terms. Background knowledge or accumulation of past "studies" barely matters in such a situation.

Using Experience as a Base To make contents authentic, it is necessary that the subject is linked with activities in a specific experience (real experience of the outside world away from a computer). Such an experience must lead learners to an "intellectual quest", which should be deepened through the support of others. To allow this, the experience should be related to something that is practiced publicly in the culture or society and learners should be able to see that. They should be able to realize that it is not just a "fiction" or "something that happens in a book (or computer)". In addition, the contents should be such that allows verification of the validity of learners' views or conclusions and withstands examination from different viewpoints. In other words, the contents should indicate a trajectory of participation in the culture and community from marginal to full participation and allow access to full participation [9].

Diversifying and Activating Externalization of Thinking To facilitate externalization of thinking in spite of different knowledge levels among learners, the contents must be such that can incorporate a context of activities in which learners play the "lead". There should be a story which makes learners feel as if they are doing things as a character. That is why there is a possibility that educational software which incorporates "games" works effectively. The "game" factor provokes moderate competition among learners, but study would not progress if the contents are nothing but fun. It is necessary to help establish a common objective among learners to work together and reach shared understanding while maintaining competition and support the process of their collaboration in spite of confrontation and conflict. Children should be able to understand the frameworks of others' thinking through playing a game and change their own frameworks based on what they learned. It is also important that children learn to collaborate through vigorous interactions and define conflicting points.

The contents should thus be able to reflect learners' thinking, close to their interests, but not just fun. Even though learners start with playing a game and are motivated through the "entertainment factor" in the beginning, they should gradually be motivated by the challenge of "participation" in the activities which are connected to real science or culture. "Non-consensus-forming collaborative learning" is achieved here—children overcome "power scheme" resulting from different knowledge levels, foster camaraderie (in playing a game) and learn in a collaborative manner while they continue to appreciate each other's differences. The most important thing is that the partners with whom children interact in playing a game are real people that exist in reality and that children "can learn from each other because of different views" through such interactions with the "real people" because it does not involve power struggle or emotional conflict.

2.3 Physical and Digital Cities for Supporting Group Learning

Based on the discussions in this section, we claim that the integration of physical and virtual worlds (physical and digital cities in this work) provides a novel way of supporting group learning. Through the collaborative construction of physical cities on the board game, learners can externalize their own ideas, interact with each other, and actively participate in a learning situation. Digital cities in the computer simulation not only provide learners with effective feedback for their further thinking, but also enables learners to try a “what if game”, such as “if a factory piece is placed, how this city will be in the future?”. Our system deals with authentic contents (urban planning and environment problems), which are critical and open problems in our society, and therefore, necessary to find a solution through collaborations, conflicts and negotiations with others.

The effects of the system described here are due to the integration of physical and virtual worlds, not to either of them. We believe that digital cities linked with physical cities provides learners with a new environment for group learning.



Fig. 1. A board game that supports the learning of urban planning and environmental problems

3 Configurations of the System

In this section, we describe the configurations of the system: its components (Sec. 3.1), the technology for integrating physical and virtual worlds (Sec. 3.2) and usage of the system (Sec. 3.3).

3.1 Components of the System

Figure 1 shows an overview of the system. Components of the system are a board game, scenario cards, and a computer simulation. The board game consists of a checkerboard, game pieces, and geographic objects. The checkerboard has 20×24 squares (its size can be changeable), each of which is three centimeter square. There are three kinds of game pieces: “houses”, “factories”, and “trees”. One game piece is put in one square on the checkerboard. Geographic objects include “mountains”, “rivers”, and other similar elements of nature. These objects are arranged on the checkerboard by learners in order to construct a city resembling their own.

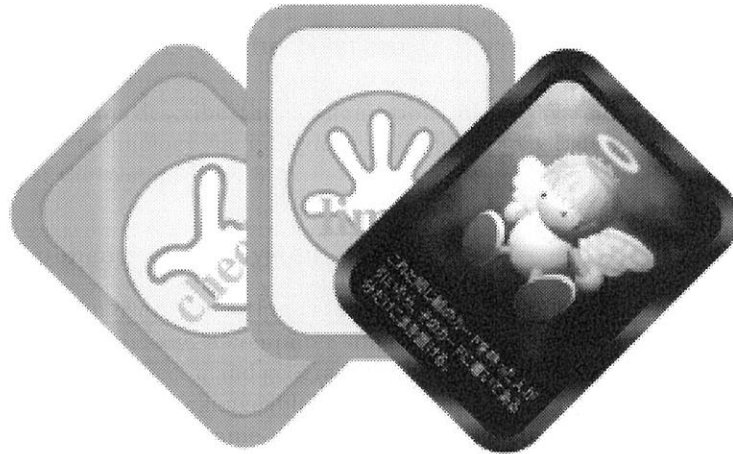


Fig. 2. An example of scenario cards

Scenario cards give learners a certain direction or contextual message regarding their learning situation. Figure 2 shows an example of these cards with messages such as “You cannot build a house next to a factory”, “You should be careful of the increase in air pollution in your city”. Before putting a game piece

on a board, a learner must draw a card. Based on its written message, a learner confirms the status of the city through the board and a computer simulation, and talks about his/her next action with other learners. The cards, therefore, enhance learners' reflections and promote their paying attention to the board, computer simulation, and other learners.

An example image of a computer simulation is shown in Fig. 3. When a learner completes his/her action, a computer simulation recognizes the arrangements of game pieces on the board and calculates future status of a city. In the simulation model, eight parameters related to a city's environment (amount of carbon/nitrogen/sulfur-dioxide discharged by factories, population of a city etc.) are considered. The status of city's air, water and soil pollution are anthropomorphically visualized in the upper left of Fig. 3, as this makes it easier for learners to relate to the simulation. When a serious environmental problem happens, the simulation not only changes its visualization (i.e., changes the expressions of each object in the figure), but also shows a textual message, such as "the air is heavily polluted" in the center of the image.

3.2 Integration of Physical and Virtual Worlds

In order to integrate a board game and a computer simulation, the radio frequency identification (RFID) system [12] is used. RFID is a non-contact object identification and data transfer technology. The RFID system consists of two components: an antenna (with a transceiver and decoder) and a tag (Fig. 4). An antenna emits radio signals to activate a tag, and reads/writes data to the tag in an electromagnetic field produced by the antenna. An antenna combined with the transceiver and decoder is called a reader. It decodes data encoded in a tag's integrated circuit (IC) and passes the data to an attached personal computer.

Tags and readers are embedded in game pieces and a checkerboard, respectively. In our current implementation, one reader is embedded in each square on the checkerboard, and one CPU is attached to every 4×4 squares as shown in Fig. 5. When a computer simulation starts the detection of the arrangement of game pieces on the checkerboard, it first sends a read-command to all the CPU's. Then, each CPU sequentially activates and controls 16 antennas on 4×4 squares, so that each of them activates a tag and reads its data. Finally, the computer simulation receives data of tags from the CPU's.

Due to the limitation of the current RFID technology, the data transmission speed between a reader and a tag is not so fast. This may cause serious communication delays when the size of a checkerboard becomes large. The configuration of the board described here, however, makes the communication time theoretically independent of the size of the checkerboard⁴. This is an important feature to enable learners to expand the board and construct a large scale city.

⁴ It takes within 0.5 second to gain information on arrangements of game pieces.

3.3 Usage of the System

When learners use the system, they sit around a board, set it up by arranging geographic objects. The first learner draws a card and puts a game piece on the board by following the direction of the card. Each learner does the same in turn. Every time a learner completes his/her move, the computer simulation recognizes the arrangement of game pieces on the board, calculates the future status of the city, and visualizes it.



Fig. 3. An example of a computer simulation which visualizes future status of a city being constructed

After reviewing the simulation results, the learner can change his/her move and put a different piece on a different place. For example, a learner, who first has put a "factory" piece, has found that air pollution will be a serious problem in

future, he/she may change his/her initial idea and puts a “tree” piece. Finally, when the design of the city is complete or time has run out, the computer simulation diagnoses the design of the city and points out planning problems.

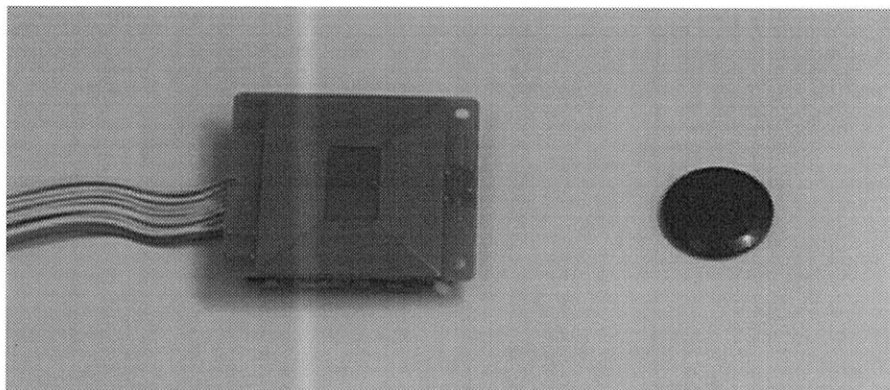


Fig. 4. An antenna (left) and a tag (right)

The integration of physical (a city on the board game) and virtual (a city in a computer simulation) worlds can enhance interactions among learners and their own reflections. All the learners can actively participate in the design of a city through interacting with artifacts, such as putting game pieces. Therefore, each learner can be an active designer, not a passive learner [2][3]. The computer simulation returns effective feedback to a learner's action, which stimulate his/her further thinking and discussions among learners, for example, why his/her action causes air pollution and what he/she should do next. The learning environment provided by the system allows learners to share their action space with each other, and freely come and go between physical and virtual worlds. This raises learners' engagements [11] and promotes learners' active collaborations and conflicts.

4 Experiments and Evaluations

4.1 Overview

The experiments were carried out in a Japanese public elementary school located in Yokohama city in Kanagawa prefecture. Thirty fifth-grade pupils who had studied environmental problems in school were divided into six groups of five. Due to the time limit of one school period, we carried out the experiments over three days. Each experiment lasted twenty minutes.

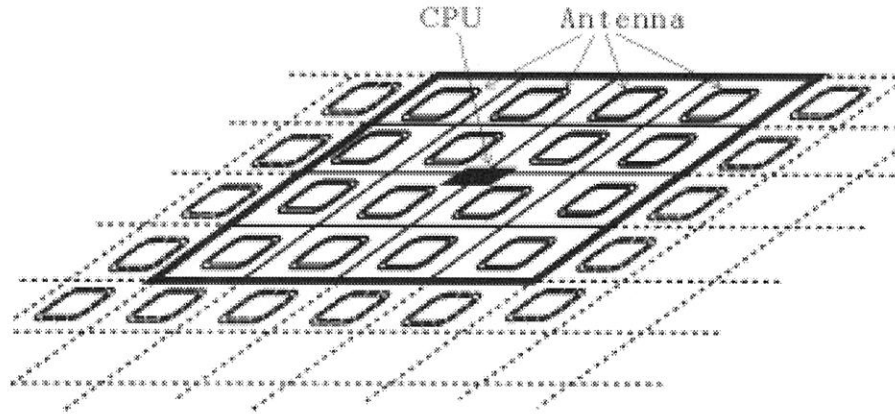


Fig. 5. An arrangement of antennas and CPU's on a game board

Before starting the experiments, brief instructions, such as the usage and rules of the system, were given to the children. Two video recorders were used to record the experiments. One was placed in a fixed position to record the motions and interactions of the children around a board, while the other was used to record the expressions and actions of each children making a move, such as placing a piece on the board. A post- experiment interview of each group was also carried out.

4.2 Evaluation

The children did not interact very frequently in the early phase of each experiment. We believe that this is because there were few pieces on a board at these times so pieces could be placed relatively freely. As an experiment went on, however, interactions among the children became remarkable. Every learner read aloud what was written on a scenario card that he/she had drawn (although we did not ask them to do so). In this manner, the message or direction of the card was shared with the other children, who then discussed which piece should be used next. Some children even offered advice of where to place a piece. Collaboration and conflict among the children occurred regularly during these moments.

The children also externalized their ideas at the same time. Every time a piece was placed, all the children paid attention to the computer simulation. The results of the simulation (improvement or deterioration of the city's status) excited the children and led them to further externalize their own ideas.

In our current system, the number of different pieces and rules are not large. However, some groups tried to extend the system by creating new rules, such as "there must be vacant land near houses or factories", or by proposing new pieces, such as "a park".

Throughout the experiments, we were able to confirm that a board game can enhance interactions among learners and is an effective medium for collaboration and conflict. The integration of a board game and a computer simulation was also successful in that both were used smoothly by the children. During post-experiment interviews it was determined that the contents and usage of the system was not difficult, and was enjoyable (most of the children stated that they would like to play the game again).

Several issues, however, were not made clear with these experiments. In one group, there was one leader type pupil who had strong control over the other players. Interactions among the children in this group were not so obvious as that in the other groups. In future research we would like to clarify the influence of individual personalities on a group.

Another important issue is related to distributed cognition [Norman93]. In another group, one child watched the computer simulations and always informed others of the results. In our experiments, the tasks given to the children were not so complex: each child should have been able to understand, judge, and decide what to do by him/herself. The relation between task complexity and distributed cognition will be investigated in the next experiment. Finally, the extensibility or evolutionary design of the system is critical [Fischer98]. It should support learners' addition or modification of artifacts based on their needs in their learning processes. Such systems seem to raise learners' engagement and promote further externalization, interactions and collaboration.

5 Conclusions

Using the experience of our previous system for supporting group learning, a new system that integrates a board game and a computer simulation was proposed in this paper. Several experiments were carried out in a public elementary school in which it was shown that the system could enhance interactions among learners and could promote collaboration and conflict during their learning processes.

Recently many systems that support learning focus on the utilization of multi-media technologies. However, the learners in most of these systems are just passive receivers of information and are not active participants of the learning situation. The system we proposed in this paper enables learners to interact with real objects, represent their own ideas, share them with other learners and confirm these ideas through a computer simulation. This allows learners to be active participants, and raises their engagement in the learning process. We think that the system and its evaluations show one of the critical issues regarding the use of multi-media technology in learning support systems: how to raise learners' motivation, and the importance of interacting with physical and virtual worlds.

References

- [1] Arias, E., Eden, H., and Fischer, G.: Enhancing Communication, Facilitating Shared Understanding, and Creating Better Artifacts by Integrating Physi-

- cal and Computational Media for Design. In *Proc. of Designing Interactive Systems (DIS'97)*, (1997) 1-12
- [2] Fischer, G.: Beyond 'Couch Potatoes': From Consumers to Designers. In *Proc. of Asia-Pacific Computer and Human Interaction (APCHI'98)*, (1998) 2-9
 - [3] Fischer, G.: A Group Has No Head: Conceptual Frameworks and Systems for supporting Social Interaction. *IPSJ Magazine*, No. 40, Vol. 6 (1999) 575-582 (In Japanese)
 - [4] Kafai, Y.: *Minds in Play: Computer Game Design as a Context for Children's Learning*, Laurence Erlbaum Associates (1995)
 - [5] Kameda, T. : *Gogi no chi wo motomete: group no ishi kettei*, Kyoritsu Shuppan (1997) (in Japanese)
 - [6] Koschmann, T. (Ed.): *CSCL : Theory and Practice of an Emerging Paradigm*, Lawrence Erlbaum Associates (1996)
 - [7] Kusunoki, F., Hori, K.: How to Make Their Opinions Open: Scaffolding School Pupils in Collaborative Learning. In *Proc. of Artificial Intelligence in Education - Knowledge and Media in Learning Systems (AI-ED'97)* (1997) 618-620
 - [8] Kusunoki, F.: Making an Interactive Environment of the Pupil, by the Pupil, for the Pupil. In *Proc. of World Multiconference on Systems, Cybernetics and Informatics (SCI'98)* (1998) 386-391
 - [9] Lave, J. and Wenger E.: *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*, Cambridge University Press (1991)
 - [10] Norman, D.A.: *Things That Make Us Smart*, Addison Wesley (1993)
 - [11] Norman, D.A. and Spohrer, J.C.: Learner-Centered Education, *Communications of the ACM*, Vol. 39, No. 4 (1996) 24-27
 - [12] RFID (Radio Frequency IDentification): <http://www.rfid.org>
 - [13] Sayeki, Y.: *Shin Computer to Kyoiku*, Iwanami Shoten (1997) (in Japanese)
 - [14] Sugimoto, M, et al.: Computer-Supported Collaborative Learning by Utilizing Different Systems, In *Proc. of the 9th Annual Symposium of Japanese Society for Artificial Intelligence* (1998) 125-130 (in Japanese)

情報処理

6
1999

VOL.40 NO.6 通巻412号 別刷



社団
法人

情報処理学会

Information Processing Society of Japan

<http://www.ipsj.or.jp>



3.意見が違うから、学び合える

～非合意形成的協同学習支援システムの開発をめざして～

楠 房子

多摩美術大学情報デザイン学科

佐伯 胖

東京大学大学院教育学研究科

グループ学習の失敗

現在の教育におけるコンピュータの利用は過渡期にあり、コンピュータの使用による潜在的な可能性が学校教育において活用されていくという可能性が持たれている一方で、ただ情報のやりとりをするだけで終わってしまうのではないかという懸念もある⁸⁾。さらに従来のコンピュータの教育への活用は個人向けであったものを、学校教育という集団学習における活用をどう展開するかという課題も新たに生じている。非常に教育熱心な教師に、これからの学習は「学び合い」を大切にすべきだとか、コンピュータで協同学習を支援するのだ、というような話をすると、かなり否定的な態度を示される。これは従来、「学び合い」をスローガンにして「グループ」学習を進めてきたことの失敗をよく知っており、やはり個人個人の「ひとり学び」を大切にしないとダメだと痛感しているからである。グループ学習の失敗は、集団の判断や「権威」に同調する傾向があることから、「他人まかせ」、「付和雷同」、「混乱増強」、「非効率」、「独裁者の横暴」などを生むという³⁾。亀田が集団意思決定の場合に生じやすい弊害として挙げていることがそのままあてはまる。本稿では、このような弊害が起こることを最小限にとどめるため、学習者が互いの意見の違いを尊重し合いながらも、協同的に作業を進め、活発なインタラクションの生成と学習の深まりを生み出す条件を探り出した試みとその実践結果について紹介する。

次章では、相互作用を有効に支援するための枠組みについて述べる。次に、「本物性があり、ゲーム性のあるコンテンツ」を学習者がどのようにして提案し、それを支

援したかについて述べ、「ゲーム性と本物性を組み合わせた」シミュレーションゲームについて述べる。

相互作用を有効に支援するためには

◆情報を相互に支援するためには

グループ学習では、グループの1人1人が、相互に発言や行動を行わず、結果として「人まかせ」や、「独裁者の横暴」などの弊害が起きることがある。コンピュータを単に学校教育の現場に適用した場合、学習者間の相互作用が期待されるほど起きないことが多いことが分かっている^{4), 5)}。その原因は、いくつか考えられるが、通常のグループ学習では、個々の学習者の知識の不均質さへの配慮がなく、それに加え、思考の外化に得手不得手があることが大きな原因であると考えられる。筆者らは、これまでの研究からコンピュータを用いることによる学習者間の活発な議論や相互作用を通して、各学習者の知識の不均質性から生じる困難を克服し、問題への理解を深め学習効果を高めようとした。本研究では、学習者の知識の不均質さへの配慮を第一として、どのような知識レベルでも、どのような「異質な」知識の保有者でも外化が容易になるように、外化様式を工夫し、相互のインタラクションを活発にするようにデザインするという方略をとった。同時に、外化の不得手な学習者も、まったく「不得手感」を持たずに参加できるように、ゲーム性を取り入れた。

異なる知識レベルの学習者が活発なインタラクションを保つには、学習者が互いに知識の有無とかレベルの比較に焦点化しないようにしなければならない。そのためには、頭の中の知識を披瀝することから離れて、かかわる対象のリアリティに直接かかわること、言い換えると、

用語の定義

▶ 十全的参加

当該の共同体の実践活動に及ぼす影響力の大きい参加のこと。例：仕立屋の仕事で正統的周辺参加として「ボタン付け」を行う。「ボタン付け」は、失敗してもその場ですぐ直せる。「裁断」は失敗すると取り返しがつかない。裁断の方が「より十全的」な参加である。

「コンテンツに本物性があること」が有効である。対象がナマで、多様な表象が可能な状態であれば、人は自らの感受性をそのままむき出しにしても、そのユニークさゆえにおもしろがられ、誰もが対等に意見を交わせるのである。そこでは予備知識や過去の「勉強」の積み重ねはほとんど問題にならない。

◆ 何らかの実体験をベースに

コンテンツに本物性を持たせるためには、扱う学習内容が具体的な実体験（コンピュータから離れて、手足を動かして外界に触れる経験）の活動と連携した内容にする必要がある。しかし、単なる体験が「体験」にとどまらず、そこから「知的探求」が生まれ、それが他者に支えられて、深まる必要がある。そのためには、現実の体験が、文化や社会の中で「公的に」実践されていることと関係していることが、学習者に見えることが大切である。単なる「架空の話」や「本（あるいはコンピュータ）の中だけのこと」ではないということが実感されていなければならない。また、学習者の意見や推論が妥当なものかが検証されたり、視点を変えて吟味に耐えるものにしていく工夫が大切である。言い換えると、文化や社会の共同体への、周辺の参加から十全的参加への、参加の軌道が見えること、十全的参加へのアクセスが可能となっていることが大切だということである⁶⁾。

◆ 思考の外化を多様化し活性化する

学習者の個性の違いにもかかわらず、外化が自由にできるようにするためには、自分自身を「主人公」とする活動の文脈が盛り込めるようなコンテンツであることが必要である。そのためには、コンテンツに物語性がある、すなわち、自分が何らかのキャラクターとなって活動を展開させていく感覚が持てる必要がある。ここに「ゲーム性」を取り入れる教育ソフトが有効に作用する可能性がある。「ゲーム性」を持つことによって、学習者間の適度の競合が積極的に誘発されるが、それに終始するだけでは学習が進まない。競合性を保ちつつも、学習者同士が協調しつつ共有可能な理解に到達するという、共同の目標を形成し、対立や矛盾を抱えつつも共同作業を遂行していく過程を支援する必要がある。そこにはゲームを行うことを通して他者の思考の枠組みを知り、それをもとに自らの枠組みを組み替えることができ、盛んなインタラクションによって他者との協調や、対立する点を明らかにしていくことが大切である。

このようにして自分の思考を反映でき、自分の関心のある世界に近く、単に楽しいだけでなく、最初は遊びから始まっても、当初は「ゲーム性ゆえに」動機付けられたものから、次第に、本当の科学や文化的社会につながりを持つという「参加」の手応えゆえに動機付くというように、動機付けが変容していくことが大切である。知識

レベルの違いからくる「権力関係」を越えて、(ゲームでの) 仲間意識を高揚しつつ、互いの「違い」を賞味(appreciate)する態度を互いに保ちながら、協同的に学んでいくという、「非合意形成的協同学習」がここに成立するのである。ここで最も大切なのは、ゲームを通じて本当に対話する相手が「ゲーム」を越えて、現実他にいるということであり、その「本物の他者」との対話が、権力的な争いや感情的な対立を持たずに、「意見が違うから学び合える」存在として、次第に露わとなってくるということなのである。以下では、このような観点から、「本物性」と「ゲーム性」を取り入れた2つの実践について紹介する。

◆ 開発環境の問題

従来の学習支援ソフト開発の問題点は、子どもの活動の文脈に埋め込まれていないことや、エデュテイメント(教育とゲームの融合)が、必ずしも成功していないことにある。理由は、開発の段階から開発者とユーザが相互にかかわり合っていないという相互作用の欠如である。ここでの相互作用とは、教師—子ども—開発者の相互コミュニケーションによる開発である。この開発では、分析単位を反応・動作のレベルではなく、授業における継続的活動のレベルに置くことが必要である。本研究では、開発者は子どもたちの授業に参加し、共に学び合い、子どもたち1人1人の発想の違い、興味・関心の違い、独特の「おもしろさ」を感受した上でソフト開発に取り組んでいる。したがって、ここで開発されたシステムがそのまま別のクラスでも成功するという保証はないし、それを目指す意図もない。むしろ、先の「本物性」と「ゲーム性」を取り込む教育ソフトを、「本物の」子どもたちとかかわり、共に楽しむという「ゲーム感覚」の中で、子どもたちとの「学び合い」の結果として、ソフト開発が行われたという、そのシステム開発の手法こそが、一般性のある知見ではないかと考えられる。

「実体験をベースにした
WWWのデザイン」☆

この実践では、「本物性があり、ゲーム性のあるコンテンツ」を学習者がどのようにして提案し、それを開発者であるデザイナーがどう支援したかについて述べる。

☆ 環境問題のWWWは、<http://www.suntory.co.jp/eco/suntoryland/index.html> をご参照ください。

◆コンテンツの制作の過程

ここでは、コンテンツの内容は、「小学生社会科工場見学」である。小学生は、総合科目の課題である「環境問題」を現実に工場はどう実践されているかを学校外に行き、1日体験する。今回は、サントリーの武蔵野ビール工場を見学した。開発者であるデザイナーも小学校5年生とともに実体験の活動である社会科見学に参加した。サントリーのビール工場では、環境問題の中でも特にリサイクルに力を入れており、全ビール工場で再資源化率100%を達成（1998年12月）している。見学コース内に再資源化用途を分かりやすく展示しており、ビール工場における副産物・廃棄物である麦芽糖化粕等の飼料化や、ガラスくず、廃アルミ缶、廃ダンボール箱、廃木製パレットなどの再資源化の過程が見学者に分かりやすく説明されている。この見学では、メモ用紙と何人かの小学生にデジタルカメラ、デジタルビデオ、カメラを渡して印象に残る場面を撮影できるようにした。その結果、子どもの撮影した写真の視点は大人よりも低く、工場の説明箇所とずいぶんずれており、見学して欲しい場所とは違うということが分かった。印象に残った場所は、寒かったり暑かったりする個所が1番多かった。見学終了後、「環境問題」についての壁新聞を作成した。この作業は、5、6人のグループ作業である。グループでは、役割分担が決まっているグループ、リーダー役の子どもが、1人で作るグループや、何もしないで、ただ見ている子どもがいるグループ、表現したいものが個々の学習者によって違うため、それを1枚の壁新聞にまとめられないグループがあった。

次に子どもたちに社会科見学の様子をWWW上で作成させるという作業を行った。思考の外化が自由にできるようにするために、コンテンツに物語性がある、すなわち、自分が何らかのキャラクターとなって活動を展開させていく感覚を引き出す必要性がある。そこで制作開発者であるデザイナーが、壁新聞のコンテンツから数個のキャラクターを作成し、工場見学で印象に残ったことを絵や文で表現した。それに足して物語を記述してもらった。そのデザインをもとにWWWコンテンツを制作した（図-1、図-2）。

◆キャラクターの出現

大多数の子どもが、自分を投影したキャラクターを登場させており、そのキャラクターの種類には、男の子、女の子、周りにいる動物という自分の世界を投影したもの、家、商店、工場という抽象度の高いもの、まったく存在しないものという3種類に分けられた。「自分の周り」から始めて「工場」、「自然」という抽象度の高い範囲へと発展していく関係性をもとに3つの物語を作成した（図-3）。

◆「ゲーム」感覚のコンテンツの出現

数人の子どもが、コンテンツ中にシンプルな「リサイク

ルに関するゲーム」を描いていた。4コマ漫画の簡単なものであるが、実際の工場に行っていなくても、リサイクルについての関心が持てる楽しいクイズである。そこで、WWW上に4コマ漫画を支援するフレームを作り、漫画の主人公は子どもの提案したキャラクターに置き換えられるようにした。

◆実際のWWWでどういったインタラクションが起こったか

次に別の小学校5年生男女23人に対して、このWWWのデザインを実際に操作してどのようなインタラクションが起こるかを観察した。

1. 他者が表現したキャラクターは、必ずしも満足のいくものではない。半数近くの子どものみが操作しながら新しいキャラクターのいるコンテンツを考えスケッチした。

2. 「掲示板」の使用

他の学習者の意見を読むことや、自分の意見を書き込むことも強い関心を寄せていた。

3. 社会科の調べ学習では、「環境問題について」の関心が高く、自分から図書館や他のWWW上での調べ学習を行うグループが複数あった（担任の先生からの報告）。これは、単に楽しいコンテンツというだけではなく、実社会での関心が持てたのではないかと考えられる。また教科書の環境問題を、人は自分達で考えながら楽しくいろいろな知識を得られることを新鮮に感じたとの意見も出た。学習におけるコンピュータを用いた相互作用の支援は、ゲームを行うことによって他者の思考の枠組みを知ることができ、盛んなインタラクションによって他者との協調や、対立する点が明らかになる。またシステムの持つゲーム性により、学習者のengagement（参加意識）を高めることができる^{2), 7)}。小学生とともに考えた「環境問題ゲーム」は、小学生のengagementを高め、「自分だったらもっとこういうゲームを作る」という発言も得られた。このことにより、子どもの理解しやすいデザインとはどういうものなのか、またどんな内容に興味を持つのかということをコンテンツ中に強調することができた。

実践の結果、現実の体験が、文化や社会の中で「公的に」実践されていることと関係しており、学習者の意見や推論が妥当なものかが検証されたり、視点を変えて吟味に耐えるものにしていく工夫があれば、シンプルなデザインであっても、学習者の相互作用の支援になることが実証できた。

ゲーム性と本物性を組み合わせたシミュレーション

この章では、「ゲーム性と本物性を組み合わせた」シミュレーションゲームについて述べる。



図-1 スケッチをもとにした画面デザイン (1)



図-2 スケッチをもとにした画面デザイン (2)

本研究では、学習者自身が操作できる物理世界およびコンピュータによって実現される仮想世界とを統合することにより^{1), 9)}、学習者の参加意欲を高め、より自然な形で学習者間の相互作用を促進するシステムを提案する。本研究でのシステムは、ボードゲームおよびシミュレーションツールから構成される。ボードゲームは、ボード、コマ、教材カードからなる(図-4)。ボードは、3cm×3cmの枠目で区切られており、1つの枠目に1つのコマを配置することができる。コマは、「家」、「工場」、「木」の3種類である。教材カードは3種類(確認、解決、問題)である。コンピュータシミュレーションでは、ボード上での町作りの進捗に応じて、町の状態がどのように変化するかを知ることができる。図-5に、コンピュータシミュレーションの画面例を示す。画面は、3つの部分から構成されており、図-5左上部にはシミュレーションの結果得られた現在の町の状態が可視化される。その際、ボード上のコマの数、学習者が引いたカードを入力としてシミュレーションが行われ、大気や河川などの状態が表示される。図-5右上部には、現在ボード上にあるコマの数が表示される。図-5下部には、ボードゲームにおける3種類のカードの番号が表示される。図の中央部には、現在発生している問題がテキストで表示される。

◆システムの利用方法

与えられた課題について学習する際、各学習者はボードゲームを囲み、他者と相互作用しながらコマを配置する。ボードゲームは、各学習者の意見を表現する場であると同時に、他の学習者の視点を共有する場としても機能する。一方、ボードゲームによるコマの配置の結果は、コンピュータシミュレーションにより検証される。それによって学習者は、ボードゲームだけでは分からなかった新たな知識を、分節、外化することができる。ボードゲームとシミュレーションツールとを統合的に利用することに

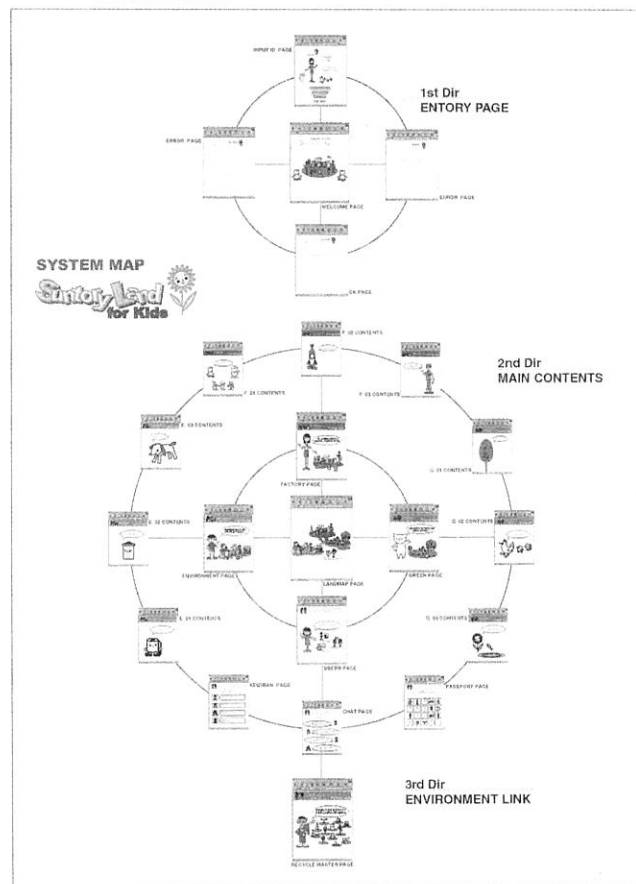


図-3 全体の構成

より、各学習者の意見の競合が起こり、より活発な議論が促進される。また、現在、構築したシステムを学校教育の現場において利用してもらうことにより、その効果の検証を進めている。本研究では、「環境に配慮した町作り」という複合的な課題をグループで学習できるようにシステムを設計した。

◆実験結果

横浜市の小学校の5年生6人5グループ(全員が授業で環境問題について学習済み)について、学校の授業で1グループずつ18分ずつ行った(図-6)。

最初に実験者が、ボードゲームやコンピュータシミュレーションに関する説明を1分程度行った。学習者は、ルールにしたがって順番にカードを引き、コマを置く。問題が発生した場合は、学習者同士で検討を行う。町を作り始める段階では、コマの数が少なく、カードに記された制約に該当しない場合が多いので、学習者間のインタラクションはあまり見られなかった。開始後10分を過ぎたあたりから、発生する問題をめぐって学習者間のインタラクションが起きるようになった。学習者全員が、カードを引きコマを置くごとに、必ずシミュレーション画面での「町の状態」の変化(河川や大気などの状態の変化)を確認した。町の状態が改善された場合は学習者同士で喜び、変化がない、あるいは悪化した場合は、改善方法について意見を交換したり、失敗した原因を追求するなどの様子が観察された。このことは、学習者のengage-



図-4 3枚のカード

mentが十分に高められていることを示している。

各学習者は自分がコマを置いた際に、他の場所にいる別の学習者から、「なぜそこに置くの?」といった質問を受けていた。最初に座っていた場所を移動したり、立ち上がったって、ボードにかぶさるように位置を変える学習者も現れた。このことからボードゲームでは、座っている場所が違うことに起因する視点の相違がボード上に表現され、その結果インタラクションが起こっていると考えられる。

町作りが進み、コマの配置に関する制約条件や環境問題が発生する状況になると、1人でコマを置くことをためらう状況や、他の学習者にコマの置き方をアドバイスする様子が見られた。コマの種類が3種類しかないため、新たなコマを想定したり（「家が集中している場合は団地と見なす」、「公園というコマが必要だ」など）、新ルールを提案（家や工場の周りには空き地があった方がいい、などの意見）したりすることもあった。「ボード上の町をもっとリアルにした方がいい。現在は山しか置いていないが、パソコンの画面と連動して人間も置けた方がいい」という意見もあった。これらの意見から、学習者は、ボードゲームを単にゲームとして捉えず、自分たちが住んでいる身近な環境を想定しながらゲームを進めていることが検証できた。

最後に

本稿では、グループ学習におけるさまざまな弊害が起こることを最小限にとどめるため、学習者が互いの意見の違いを尊重し合いながらも、協同的に作業を進め、活発なインタラクションの生成と学習の深まりを生み出す条件を探り出した試みとして、2つの実践を紹介した。

今後、学校教育は、学校外の専門家、実社会で活動している人たちとの交流をもとに、学校教育の閉鎖性を打破し、学習にリアリティと実践性を持たせる方向に、教育改革が進められていくべきである。その際、教師、子どもたち、そして学校外の専門家（社会人）とが、協同で何らかの活動（プロジェクト、作品製作など）を組織化していくことが大いに勧められる。さらにそのような場合に、どのような段階設定が必要か、それぞれの段階でどのような相互インタラクションが大切か、さらに、それらのコミュニケーションをもとに、統一的な目標に収束させていくためにはどのようなツール環境が必要か、な

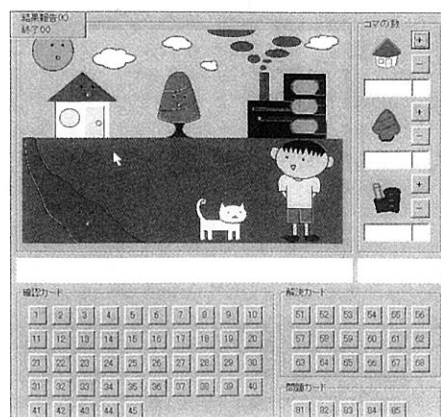


図-5 シミュレーション画面



図-6 小学校で使用している様子

どについて検証が行われなくてはならない。今後は、ひとり学びのフェーズ、機械と人間である学習者との2者間でのインタラクションフェーズ、複数の学習者間のフェーズという相互作用の3つのフェーズのバランスを統合したシステムを開発していくのが課題である。

謝辞 実践を行うにあたり、共同研究として協力していただいたサントリー（株）、実験に協力して下さった練馬区立練馬東小学校、横浜市立笹野台小学校の皆様、システムを作るにあたり、多摩美術大学の坂田純一郎氏（現SONY）、上田絵理氏、澤野鯛子氏（現ミドリ）、梅沢美希氏、曾田玲奈氏、西森郁馬氏、御厨裕平氏、椎野康弘氏にお世話になりました。感謝いたします。

参考文献

- 1) Arias, E., Eden, H. and Fischer, G.: Enhancing Communication, Facilitating Shared Understanding, and Creating Better Artifacts by Integrating Physical and Computational Media for Design, In Proc. of Designing Interactive Systems (DIS'97), pp.1-12 (1997).
- 2) Kafai, Y.: Minds in Play: Computer Game Design as a Context for Children's Learning, Laurence Erlbaum Associates (1995).
- 3) 亀田達也: 合議の知を求めて: グループの意思決定, 共立出版 (1997).
- 4) Kusunoki, F. and Hori, K.: How to Make Their Opinions Open: Scaffolding School Pupils in Collaborative Learning, In Proc. of Artificial Intelligence in Education -Knowledge and Media in Learning Systems (AI-ED'97), pp.618-620 (1997).
- 5) Kusunoki, F.: Making an Interactive Environment of the Pupil, by the Pupil, for the Pupil, In Proc. of World Multiconference on Systems, Cybernetics and Informatics (SCI'98), pp.386-391 (1998).
- 6) Lave, J. and Wenger, E.: Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation, Cambridge University Press (1991). 佐伯 胖 (訳): 状況に埋め込まれた学習: 正統的周辺参加, 産業図書 (1995).
- 7) Norman, D.: Learner-centered Design, Communications of ACM, Vol.39, No.4, pp.24-27 (Apr.1996).
- 8) 佐伯 胖: 新・コンピュータと教育, 岩波書店 (1997).
- 9) 杉本, 足立, Robinson, C. and Fischer, G.: 複数システムを統合的に利用することによる協調学習支援の試み, 第9回AIシンポジウム, pp.125-130 (1998).

(平成11年5月6日受付)