

# オンライン協調型環境学習のための サイバースペースプラットフォーム *DigitalEE II*

岡田 昌也<sup>†</sup> 山田 暁通<sup>†</sup> 吉田 瑞紀<sup>†</sup> 垂水 浩幸<sup>‡</sup> 守屋 和幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻

<sup>‡</sup> 香川大学工学部信頼性情報システム工学科

DigitalEE II (Digitally Enhanced Experience) は、協調型環境学習のためのサイバースペースプラットフォームである。このプラットフォームは現実世界を写實的に再現した三次元的空間メタファにより現実世界と仮想世界を相互に接続し、実参加者（自然環境の中の参加者）と仮想参加者（遠隔地の参加者）のヒューマンインタラクションを支援する。オンライン協調型環境学習の評価のために行った実験では、両参加者が自発的な自然観察を通して経験や感覚を共有できたことを確認した。また、DigitalEE II が両参加者の環境への興味や気付きを引き出したことを確認した。

## A Cyber Platform *DigitalEE II* for Online Collaborative Environmental Learning

Masaya Okada,<sup>†</sup> Akimichi Yamada,<sup>†</sup> Mizuki Yoshida,<sup>†</sup>  
Hiroyuki Tarumi<sup>‡</sup>, and Kazuyuki Moriya<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Department of Social Informatics, Graduate School of Informatics, Kyoto University

<sup>‡</sup>Department of Reliability-Based Information Systems Engineering,  
Faculty of Engineering, Kagawa University

DigitalEE II (Digitally Enhanced Experience) is a cyber platform for collaborative environmental learning. The platform interconnects real and virtual worlds via a 3D spatial metaphor photo-realistically representing the real world, and supports human interaction between real participants (participants in real nature) and virtual participants (participants at distant locations). Experiments were conducted to verify online collaborative environmental learning, and the results showed that the real and virtual participants shared experiences and emotion through voluntary environmental observation. The results also showed that DigitalEE II raised both participants' environmental interests and awareness.

### 1 緒論

重大な社会的関心事となる地球環境問題を背景として、現在、効果的な環境学習の実現が強く求められている。環境学習の成功の鍵は、様々な立場の人々が集まり、議論やコミュニケーションを通して環境問題に対する深い考察を可能とする“場”の実現である [1]。他者とのコミュニケーションを通して多様な意見や活動の存在を知ることが、環境問題についての多角的視野からの考察を可能とし、環境に対する学習者の態度や価値観の変化に重要な役割を果たす。

サイバースペースプラットフォーム *DigitalEE II* (Digitally

Enhanced Experience)<sup>1</sup>は、オンライン協調型環境教育支援システム *DigitalEE* (Digital Environmental Education) [1, 2] の後継システムである (図 1)。DigitalEE II は、実参加者（現実の自然環境の中にいる人々）と仮想参加者（遠隔地にいる人々）がモバイルサイバースペース II（現実世界と仮想世界から参加可能な分散仮想環境）を介し仮想的に時間、空間、協調活動を共有し、環境問題解決に向けた意見交換を行うことを支援する。近年の環境学習に関す

<sup>1</sup>本研究の将来的展望を考慮し、*DigitalEE II* から “*DigitalEE*” という略語があらわす語と意味が変更された。*DigitalEE II* は環境学習の電子的実現だけでなく、現実経験と仮想経験の高度な電子的拡張に基づく将来サービスの実現を目指している。

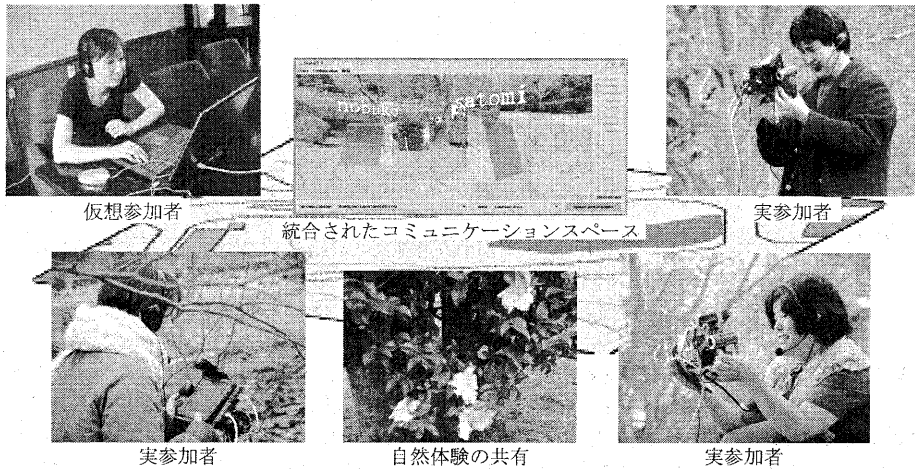


図 1: DigitalEE II : 電子的経験の拡張に基づくオンライン協調型環境学習

る研究は情報技術の持つ潜在的可能性に注目しつつあるが [3], その具体的応用はほとんどなされていなかった。たとえば, 拡張現実感に関する研究 [4, 5] や社会的側面からの分散仮想環境の研究 [6] などは環境学習の支援に対し大きな可能性があると考えられるが, これまで環境学習がそれらの研究の主たる焦点となることはなかった。DigitalEE II は, 環境に関する情報の交換 [7], 直接的自然体験における理解の補完 [3], 仮想自然ツアー [3], 遠隔環境教育 [8], 直接経験と間接経験の相互補完 [9, 10] のような, 環境学習における様々な潜在的かつ重要な要求を情報技術の応用により満たすものである。

本稿では, DigitalEE II の設計と実験から, 電子的経験の拡張に基づくオンライン協調型環境学習の可能性について示す。

## 2 DigitalEE II

DigitalEE II は, 現実世界と仮想世界におけるコミュニケーションスペースを統合し, その中での音声・動画を介した協調的インタラクションの支援を行う。

### 2.1 実験対象地

京都大学大学院農学研究科附属演習林上賀茂試験地は 750 種の植物を維持・管理している。本研究における実験対象地は, 当該試験地における池周辺の

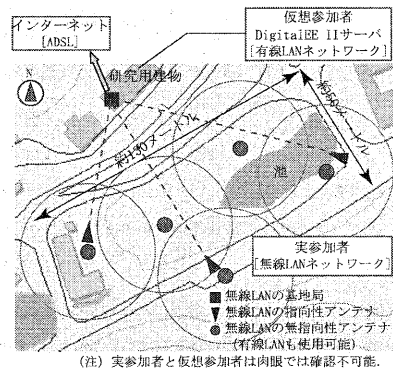


図 2: 実験対象地 (上賀茂試験地)

エリア (130m × 50m, 6500m<sup>2</sup>) である。当エリアにおいては有線 (100Mbps) および無線 (11Mbps) LAN ネットワークを使用することができる (図 2)。

### 2.2 システム構成および端末装備

DigitalEE II は Java (JDK 1.4.0) によるクライアントサーバ構成である。開発には, 実参加者用モバイル端末 (Crusoe 600MHz, 192MB/128MB) 5 台, 仮想参加者用ノート型端末 (Pentium IV 1.7GHz, 512MB) 1 台, サーバおよび仮想参加者用デスクトップ型端末 (Pentium IV 1.0GHz, 256MB) 3 台が用いられている。DigitalEE II サーバを介した制御情報 (アバタ位置, アウェアネス, イベント, ユーザ参加,

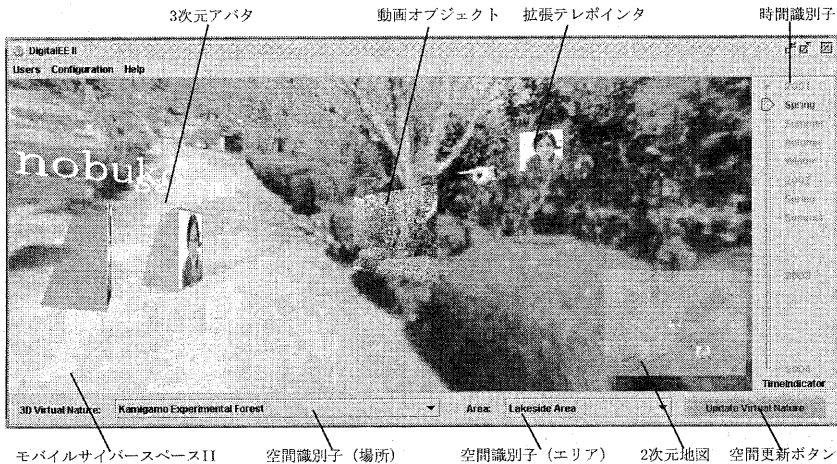


図 4: 実写画像に基づくモバイルサイバースペース II (上賀茂試験地の一部を再現)

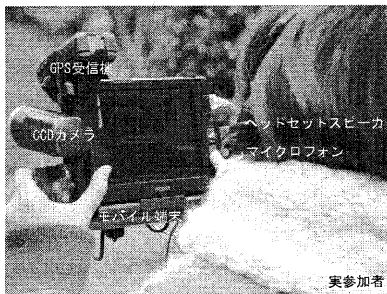


図 3: システム装備 (実参加者)

ユーザ個人データ)の交換により、クライアント間でのモバイルサイバースペース II の一貫性は保持される。実参加者用のモバイル端末には無線 LAN カード、CCD カメラ、ヘッドセットスピーカ、マイクロフォン、電子方向センサ内蔵型 GPS 受信機が搭載されている(図 3)。仮想参加者用端末には、有線 LAN カード、ヘッドセットスピーカ、マイクロフォンが搭載されている。

### 2.3 モバイルサイバースペース II

モバイルサイバースペース II は全方位画像を用いて構築された現実世界の空間メタファである(図 4)。これは 3 次元的形状モデルを持つ空間であり、その中で 3 次元的ウォークスルーや 3 次元仮想オブジェクトの配置を行うことが可能である。互いを肉眼で

確認できない実参加者と仮想参加者は、モバイルサイバースペース II の中に 3 次元アバタとして投影される。モバイルサイバースペース II におけるシーン画像は、参加者の移動・回転に応じて連続的に切り替えられる。実参加者のアバタとシーン画像は位置センシングデバイスからの緯度・経度・方向情報と連動して自動的に制御される。一方、仮想参加者は、マウス左ボタンやキーボードの方向キーによって制御を行う。両参加者の位置情報はモバイルサイバースペース II 内のアバタ情報を介して共有される。

ヘッドセットマイクロフォンからの音声データと CCD カメラからの動画データは、RTP (Real-time Transport Protocol) でのマルチキャストストリーミングにより参加者間で交換される。実参加者の撮影動画は実参加者のアバタの前方に動画オブジェクトとしてリアルタイムに埋め込まれ、静的な仮想空間が動的な現実世界情報により拡張される。仮想参加者はマウスの右ボタンを用いて拡張テレポインタを表示することができ、注視オブジェクトの伝達、方向の指示、注意の喚起を行うことができる。近傍に存在する全ての参加者はそのテレポインタ情報を共有することができる。時間・空間識別子はモバイルサイバースペース II における時間的・空間的移動を可能とする。空間更新ボタンは参加者によるモバイルサイバースペース II への情報の動的な更新(自然観察の成果の可視化など)に使用される。環境学習用の教材はモバイルサイバースペース II に重畳可能である。時間・空間識別子、空間更新ボタン、教材

表示機能は現在調整中である。

### 3 実験

#### 3.1 目的

環境学習においては、一方的かつ強制的な教育ではなく、双方向的なコミュニケーションを通じた自発的環境学習が重要である [1, 10]。また、参加者に対し自然環境についての関心や気付きを促すこと、環境学習に楽しみを感じさせることが重要である。

以下に、DigitalEE II についての知識と経験を持たない 10 名の被験者に対し行った計 5 日間の実験について報告する。実験目的は、(1) DigitalEE II の設計に対する基本的検討、(2) 現実世界と仮想世界におけるコミュニケーションを通じた自発的環境学習の評価、(3) 環境学習および DigitalEE II への参加の楽しさ、環境への興味、環境への気付きの評価、である。

#### 3.2 方法

それぞれの実験において、1 名の実参加者が当該実験対象地の池周辺のエリアから、1 名の仮想参加者が研究用建物の中から、DigitalEE II サーバに接続した (図 2)。DigitalEE II サーバは仮想参加者と同じ建物の中に設置した。各実験における実参加者と仮想参加者は同年代の知り合いであり、互いを肉眼で確認することはできない。(通常の環境学習プログラムにおいて知り合い同士が集って参加することは一般的である。) 自発的環境学習の評価を行うために、また、実験結果に対するシステムの貢献と他の要因の貢献 (教材、教育者の指導方法など) を明確に切り分けるために、被験者には環境学習を強要せず、DigitalEE II を用いて自由に会話することだけを促した。本実験においては、DigitalEE II による教材の提示は行われていない。

実験は以下の流れに従って行った。(1) 実験前アンケート (被験者の基本的属性の獲得, 5 分間), (2) DigitalEE II の機能・操作についての簡単な説明 (約 5 分間), (3) 実験 A (現実世界と同じ季節を表現したモバイルサイバースペース II を使用, 60 分以内), (4) 実験 B (現実世界とは別の季節を表現したモバイルサイバースペース II を使用, 60 分以内), (5) 実験後アンケート (印象, ユーザビリティ, 機能, イ

表 1: 被験者属性

項目	度数 (人数)
性別	男性 = 2, 女性 = 8
年齢	11-20 歳 = 2, 21-30 歳 = 6, 31-40 歳 = 0, 41-50 歳 = 1, 51-60 歳 = 1
職業	会社員 = 5, 学生 = 2, 自営業 = 1, 専業主婦 = 1, アルバイト = 1
コンピュータの 日常的使用経験	あり = 7, なし = 3
環境への興味	強い興味がある = 2, 興味がある = 8

※被験者総数は 10 名。

ンタラクションなどの評価, 約 40-60 分), (6) 聞き取り調査 (総合的評価, 約 120 分)。アンケートはいずれも 5 段階評定質問 (2: “非常によい”, 1: “ややよい”, 0: “どちらでもない”, -1: “やや悪い”, -2: “非常に悪い”), 多段階評定質問, 自由記述設問からなる。予備実験で用いた無線 LAN にはネットワークの脆弱性が確認されたため, 本実験には有線 LAN を用いた。被験者の移動, 発話音声, 仮想空間制御, 撮影動画, 被験者の行動などはログファイルとビデオテープに記録され, 行動・発話分析に用いた。

#### 3.3 結果

実験前アンケートから得られた被験者属性を表 1 に示す。表 2, 4 に実験後アンケートからの総合的評価, 表 3 にアンケートの自由記述, 聞き取り調査からの報告の一例を示す。ユーザインタフェースの視覚的デザイン (表 2 (1)(i)) とモバイルサイバースペース II の美しさ (表 2 (3)(a)(i)) は実参加者により低く評価されたが, これは太陽光線下での画面の見にくさに一因がある。また, 実参加者の端末装備に関しては改善の余地が認められた (表 2 (2))。

モバイルサイバースペース II は現実世界と仮想世界の同定を可能とする程度のリアリティを保持し (表 2 (3)(a)(ii)), 特に仮想参加者からその積極的な閲覧の必要性が指摘された (表 2 (3)(a)(iii))。実参加者は, 会話相手のアバタ, 拡張テレポインタ, 自らの位置の確認のためにモバイルサイバースペース II を見ていると報告した。一方, 仮想参加者は, 現実世界情報を総括的に把握するためにモバイルサイバース

表 2: 評価 (システム)

評価項目	平均 (RP/VP)
<b>(1) 視覚的デザイン・操作性</b>	
(i) UIの視覚的デザイン	0.7 (0.2/1.2)
(ii) 操作の単純性への満足	1.2 (1.4/1.0)
<b>(2) 端末装備 [RP]</b>	
(i) 重量的負担 (1.5kg)	-1.6 (-1.6/-)
(ii) 形状的負担	-0.8 (-0.8/-)
<b>(3) 性能とシステムデザイン</b>	
<b>(a) モバイルサイバースペース II</b>	
(i) 美しさ	0.5 (0.2/0.8)
(ii) 現実世界と仮想世界の同定	0.9 (0.8/1.0)
(iii) RPの周辺環境の理解のための必要性 [VP]	1.6 (-/1.6)
<b>(b) 両世界で共有されるアバタ</b>	
(i) コミュニケーションへの貢献	1.1 (1.2/1.0)
<b>(c) 埋め込み型動画オブジェクト</b>	
(i) コミュニケーションへの貢献	1.9 (1.8/2.0)
(ii) RPが見ているものの理解、現実世界情報の理解への貢献 [VP]	1.6 (-/1.6)
(iii) 動画撮影・閲覧のストレス	0.1 (0.0/0.2)
<b>(d) 電子方向センサ [RP]</b>	
(i) RVでの視線方向の同一性	0.8 (0.8/-)
<b>(e) 音声コミュニケーション</b>	
(i) 円滑さ	0.9 (0.6/1.2)
<b>(f) 拡張テレポインタ</b>	
(i) 円滑なコミュニケーションへの貢献 [RP]	0.8 (0.8/-)

※ RP: 実参加者, VP: 仮想参加者, RV: 現実と仮想, [RP]: RP への質問, [VP]: VP への質問, 平均: 5段階評定のスコア平均値,  $-2 \leq \text{平均値} \leq 2$

ペース II を見ていたと報告した。モバイルサイバースペース II により表現された四季の情報は、実参加者の自発的自然観察や仮想参加者の質問（自然環境の変化の兆しについてなど）を促すことが確認された。アバタ、拡張テレポインタは円滑なコミュニケーションに貢献した（表 2 (3)(b), (3)(f)）。動画の撮影・閲覧においてはストレスが報告されたが、実参加者の視覚情報の理解やコミュニケーションに対する動画の貢献は高く評価された（表 2 (3)(c)）。電子方向センサ情報に基づく現実世界と仮想世界における方向の同一性はほぼ認められた（表 2 (3)(d)）。音声コミュニケーションもストレスのないレベルで実現された（表 2 (3)(e)）。

表 3: 被験者の報告 (一例)

<ul style="list-style-type: none"> <li>・「異なる世界にいながら同一体験をしている点が面白かった。現実世界の人の体験を自分もしている感じ。他者の視野＝自分の視野のように感じた。」(仮想参加者)</li> <li>・「自分が現実世界において、目にしている物、感じていることを離れた人に伝えて共感を得られたことが面白かった。」(実参加者)</li> <li>・「日常生活では見逃してしまいそうな変化を見つげられた。久しぶりに木に囲まれて、自然のよさを思い出した気がする。」(実参加者)</li> <li>・「たくさんの自然の映像を見たので、いろいろと自然環境について考えさせられる機会が多かった。やはり美しいものを見たら、それを守りたいと思うので。」(仮想参加者)</li> <li>・「DigitalEEに参加して、自然の美しさを再認識できた。自然を残して守っていかないといけないと思った。」(実参加者)</li> </ul>
---

※アンケート自由記述、聞き取り調査からの引用。

実験においては、両参加者による自然環境に関する積極的な会話（植物、昆虫、池の魚の生態などの会話を含む）が確認された。会話分析からは、自然に関する発話とシステムの機能そのものについての発話以外はほとんど確認されなかった。両参加者は現実世界と仮想世界の間で体験と感覚の共有が実現されたことを報告し、現実体験と仮想体験の電子的拡張が確認された（表 3）。現実世界と仮想世界における自然散策の楽しさ、DigitalEE II の面白さは高く評価された（表 4 (1)）。また、仮想参加者が現実の自然を実際に訪問することに対する欲求が高められたことが確認された（表 4 (2)(ii)）。実参加者は自然観察を積極的に行ったことが示され、実参加者と仮想参加者の環境への関心や気付きが高められた（表 4 (2)(i)(iii)(iv)）。

### 3.4 考察

全体的に仮想参加者の平均スコアよりも実参加者の平均スコアのほうが低いが、これは端末装備の負荷と太陽光線下での画面の見にくさに一因があると考えられる。この問題はウェアラブルデバイスの今後の発展により解決が見込まれる。

DigitalEE II により提供された機能がコミュニケーションの中で有効に用いられたことは、システムの

表 4: 評価 (面白さ・楽しさ, 環境学習)

評価項目	平均 (RP/VP)
<b>(1) 面白さ・楽しさ</b>	
(i) RV における会話	1.5 (1.2/1.8)
(ii) RV における自然散策	1.4 (1.2/1.6)
(iii) DigitalEE II への参加	1.2 (0.8/1.6)
(iv) 再参加への熱意	1.3 (1.2/1.4)
<b>(2) 環境学習行動</b>	
(i) 周辺環境の観察の積極性 [RP]	1.0 (1.0/-)
(ii) 自然の訪問への欲求 [VP]	1.8 (-/1.8)
(iii) 環境への関心の向上	1.3 (1.2/1.4)
(iv) 環境への気付きの促進	1.2 (0.8/1.6)

※ RP: 実参加者, VP: 仮想参加者, RV: 現実と仮想, [RP]: RP への質問, [VP]: VP への質問, 平均: 5段階評定のスコア平均値,  $-2 \leq \text{平均値} \leq 2$

設計の適切性を示していると考えられる。DigitalEE II は自発的かつ積極的な自然観察を通じた環境学習を支援し、両参加者の環境への興味・気付きを引き出した。統計的評価にはより多くのデータが必要であるが、環境学習の第1ステップとして重要な結果が得られた。

## 4 まとめと今後の研究

本稿では、オンライン協調型環境学習のためのサイバープラットフォームである DigitalEE II のシステム設計と実験について述べた。DigitalEE II は現実経験と仮想経験を拡張し、コミュニケーションを通じた協調的かつ自発的環境学習を実現した。この環境学習により被験者の環境に対する興味や気付きを向上させることができた。

今後、著者らは現実世界と仮想世界の相互接続のためのユーザインタフェース、DigitalEE II による環境学習への貢献をさらに検証する。

## 謝辞

京都大学大学院情報学研究所生物圏情報学講座の皆様、京都大学大学院情報学研究所石田亨教授、和歌山大学システム工学部石黒浩教授、科学技術振興事業団小泉智史先生に深い感謝の意を表します。本研究の一部は科学技術振興事業団・戦略的基礎研究推進事業の研究助成によります。

## 参考文献

- [1] Okada, M., Tarumi, H., Yoshimura, T., Moriya, K. and Sakai, T.: Realization of Digital Environmental Education — A Future Style of Environmental Education in Dynamically Changing Virtual Environment —, *Digital Cities II*, LNCS2362, pp. 292–304 (2002).
- [2] 岡田昌也, 吉村哲彦, 垂水浩幸, 守屋和幸, 酒井徹朗: DigitalEE: 分散仮想空間による協調型環境教育支援システム, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J84-D-I, No. 6, pp. 936–946 (2001).
- [3] Taylor, G. L. and Disinger, J. F.: The Potential Role of Virtual Reality in Environmental Education, *The Journal of Environmental Education*, Vol. 28, No. 3, pp. 38–43 (1997).
- [4] Höllerer, T., Feiner, S., Hallaway, D. and Bell, B.: User Interface management Techniques for Collaborative Mobile Augmented Reality, *Computers and Graphics*, Vol. 25, No. 5, pp. 799–810 (2001).
- [5] Schnädelbach, H., Koleva, B., Flintham, M., Fraser, M. and Izadi, S.: The Augurscope: A Mixed Reality Interface for Outdoors, *Proceedings of the CHI2002*, ACM, pp. 9–16 (2002).
- [6] Nakanishi, H., Yoshida, C., Nishimura, T. and Ishida, T.: FreeWalk: A 3D Virtual Space for Casual Meetings, *IEEE MultiMedia*, Vol. 6, No. 2, pp. 20–28 (1999).
- [7] 山田朗, 田所千春: GLOBE 参加学校の担当教員に対するインターネットの利用調査, 環境教育, Vol. 9, No. 2, pp. 45–50 (1999).
- [8] May, T. S.: Elements of Success in Environmental Education Through Practitioner Eyes, *The Journal of Environmental Education*, Vol. 31, No. 3, pp. 4–11 (2000).
- [9] 呉宣児, 無藤隆: 自然観と自然体験が環境価値観に及ぼす影響, 環境教育, Vol. 7, No. 2, pp. 2–13 (1998).
- [10] 水越敏行, 木原俊行: 新しい環境教育を創造する—子供がきずく環境へのかけ橋—, ミネルヴァ書房 (1995).