

歩行空間におけるカラーユニバーサル デザイン支援システムの開発と適用

窪田 諭^{†1} 関 博之^{†1}
狩野 徹^{†2} 阿部 昭博^{†1}

歩行空間において、高齢者や障害者を含むすべての人への配慮からユニバーサルデザイン(UD)が進んでいる。しかし、色の識別に困難をともなう色弱者については、カラーUD(CUD)の社会での認識が低いため対応が遅れている。本研究では、歩行空間において一般色覚者が色弱者の見え方を視覚的に理解し、CUDの知識を得るために、CUD支援システムを開発した。まず、CUD活動の実践の場として「UD教育」と「まちづくりワークショップ」の2つの活動を考え、CUDの実践における課題を分析した。次に、その課題分析をもとに、3次元空間データを用いて歩行空間を表現し、CGによって色弱者の見え方を体験するシステムを開発した。CUD活動においてシステムを対面・同期と遠隔・非同期で利用することを考え、UD教育では大学の授業と復習、まちづくりワークショップではフィールドワークショップを想定したヒアリングとオンラインワークショップでシステムを評価した。その結果、これらの場面で一般色覚者が色弱者を理解するためにシステムを活用できる可能性が高いことを示した。また、様々な利用者を想定した操作性の改善、オンラインワークショップのための機能改善などの課題を明らかにした。

Development and Application of Color Universal Design Support System for Pedestrian Space

SATOSHI KUBOTA,^{†1} HIROYUKI SEKI,^{†1} TORU KANO^{†2}
and AKIHIRO ABE^{†1}

Universal design (UD) is applied to pedestrian space composed of roads and roadside buildings for all the people including elderly and disabled people. However, color UD (CUD) for color blind people is not advanced for low social cognition. In this paper, CUD support system was developed and applied for understanding difference of vision in color blind people and studying CUD for people with normal color vision. CUD activity scenes are looked on UD professional education and town development workshop. In these scenes, three

problems are analyzed for CUD practice. For solving the problems, CUD support system was developed by using three-dimensional spatial data of pedestrian space. It has made it possible for experience of CUD view in three dimensional computer graphics. The system is used in face-to-face and synchronous or remote and asynchronous, and evaluated in class and review of UD education, and hearing of field workshop and online workshop in town development workshop. In the results, the system can be useful for this research objective. And, a few challenges are made clear for operability and functions of the system.

1. はじめに

地域の開発や改善を図るプロセスである「まちづくり」においては、高齢者や障害者を含むすべての人に配慮するユニバーサルデザイン(以下、UDという)が進んでいる。歩行空間は人の「移動」という基本的かつ必要不可欠な活動を行う場であり、移動に困難をともなう人を含むすべての人を対象として、UDを重視して整備されることが必要である。UDの対象として、高齢者、車椅子利用者、子どもなどが考えられるが、外見では分からない特性を持つ人もおり、UDに対応することは容易ではない。特に、色の識別に困難をともなう色弱者については、特性を公表することが難しく、社会での認識が低いため歩行空間での対応が遅れている。多様な色覚を持つ様々な人に配慮し、すべての人に情報が正確に伝わるように利用者側の視点に立つてつくられたデザインがカラーユニバーサルデザイン^{1),2)}(以下、CUDという)である。CUDに配慮することにより、色をうまく使い、すべての人に美しく感じられるデザインを創りつつ、情報を正確に伝えることが可能となる。

人は見えているものが客観のように思い込みがちであるが、脳内で作られている主観も見ている世界には存在するという認識を持つことが必要である³⁾。色弱者以外の人(以下、一般色覚者という)は、たとえば紙上で意図を強調するために複数の色を使うことがあるが、色弱者は強調箇所を把握できないことがあり、両者のコミュニケーションに齟齬が生じる。色弱者は自らが色弱であることを積極的に公表することはあまりなく、色の認識が困難であることを周囲に伝えられない。歩行空間において歩行者が認識する対象として、歩道、道路標識、視覚障害者誘導用ブロック、看板などがある。色弱者がこれらを設置者の意図どおり

^{†1} 岩手県立大学ソフトウェア情報学部

Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

^{†2} 岩手県立大学社会福祉学部

Faculty of Social Welfare, Iwate Prefectural University

認識することは、CUD に配慮していない状況では難しい。CUD について、地下鉄路線図や公共施設の看板、出版物などで対応され始めており、さらに、その理解のための啓発や教育での支援が求められる。

まちづくりの中で道路を計画し、その線形や舗装などを設計・施工する道づくりは、UD を考慮すると、(1) その対象と目的、課題の明確化、(2) 現状把握、(3) 道づくりの基本原案の作成、(4) 障害状態と検討事項の整理、(5) 対応策の検討と代替案の作成という手順⁴⁾で進められる。しかし、CUD を考慮したまちづくりには明確なプロセスが確立されておらず、地方自治体が CUD ガイドライン⁵⁾ を定め公共施設を CUD 対応するための普及・啓発を図る取り組みや、CUD 対応の自転車マップ⁶⁾ を作成する活動が行われている。また、信号や階段の手すり、看板などを対象に CUD が考慮されつつあるが、まちづくりや道づくりという視点ではとらえられていない。一方、歩行空間すべてを UD 化することは不可能であることから、移動支援の研究^{7)–10)} が行われているが、CUD を対象としていない。印刷やデザイン領域では、色弱模擬フィルタ^{11),12)}、CUD 対応インタフェース^{13)–15)} や色覚シミュレータ¹⁶⁾ を用いて CUD を体験する研究が行われているが、歩行空間を対象にしたものは少ない。

そこで本研究では、歩行空間において一般色覚者が色弱者の見え方を視覚的に理解し、CUD の知識を得るために、CUD 支援システムを開発する。ここでは、CUD の実践の場として UD 教育とまちづくりワークショップを考え、歩行空間を 3 次元空間データによって表現し、CUD の可視化を提案する。そして、これらの場面におけるシステム評価実験を行い、システムの活用可能性を考察する。

本論文では、2 章で色弱の概要と関連研究を整理したうえで、CUD 実践における課題を分析し、3 章で CUD 支援システムを提案する。そして、4 章で CUD 実践場面におけるシステム評価実験について述べ、5 章でその結果を考察し、6 章で全体をまとめる。

2. CUD 支援の現状と課題

本研究で用いる歩行空間を定義する。道路は、道路法より「道路」と「道路付属物」で構成される。道路は、歩道、橋梁、トンネルなどの構造物である。道路付属物は、道路標識、並木、街灯などを指す。本研究では、道路と道路付属物に加え、歩行者から視認される「沿道建築物」を合わせて「歩行空間」と呼ぶ。歩行空間を構成する要素を図 1 に示す。地下や沿道建築物の内部は対象としない。

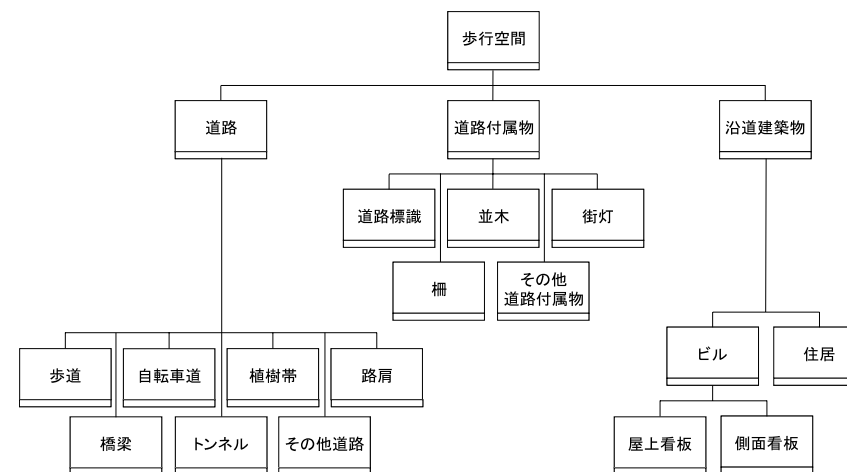


図 1 歩行空間を構成する要素
Fig.1 Elements in pedestrian space.

2.1 色弱について

色弱は、人間の目の網膜にある L 錐体（赤）、M 錐体（緑）、S 錐体（青）のうち、どれかの機能が損なわれた状態である。色覚は錐体の有無により、C 型（一般色覚者）、P 型（第 1 色弱、L 欠損）、D 型（第 2 色弱、M 欠損）、T 型（第 3 色弱、S 欠損）、A 型（錐体欠失）に分類^{1),2)}される。色弱者はわが国では約 290 万人存在し、そのうち約 25%が第 1 色弱、約 75%が第 2 色弱、約 0.02%が第 3 色弱である。日本眼科学会では一般色覚者を 3 色覚、それ以外を色覚異常とし、異常 3 色覚、1 型 2 色覚（L 欠損）、2 型 2 色覚（M 欠損）、3 型 2 色覚（S 欠損）、1 色覚（錐体欠失）と呼称している。一方、色覚には多様性があるという考えから、色覚異常という呼称で正常と異常に区別することは適切ではないという議論がある。カラーユニバーサルデザイン機構（以下、CUDO という²⁾では C 型を「一般色覚者」、残りは色認識に弱い点があることから「色弱者」と呼ぶ。本論文ではこれに従い、「一般色覚者」と「色弱者」と表現する。

2.2 関連研究

歩行空間における UD 支援に関する研究として、歩行者の移動支援を目的とするものが多い。国土交通省の自律移動支援プロジェクト⁷⁾では、健常者・障害者、外国人を対象とした行動支援システムを開発し、全国で社会実験を行っている。また、駅で携帯端末を用いて



図 2 色弱模擬フィルタ
Fig. 2 Dichromatic spectacles.

視覚障害者にバリア情報を提供するシステム⁸⁾や、高齢者・障害者を含むすべての人を対象とした歩行空間のアクセシビリティ情報の提供システムと歩行者支援 GIS^{9),10)}が開発されている。これらの研究では、高齢者と障害者の身体特性に基づく情報を収集しデータベースが構築されているが、色弱者を対象としていない。地域の UD 活動を支援する研究には、住民参加型アプローチを採用してシステムを開発し岩手県内で実証したもの¹⁷⁾がある。一方、3次元空間を用いた研究として、3次元CGを用いた歴史文化財におけるUD観光支援システム¹⁸⁾、パノラマ画像によって作成した仮想3D空間を用いて要介護者の観光旅行を支援するシステム¹⁹⁾、通学路の疑似体験システム²⁰⁾や3次元パリアフリー地図²¹⁾がある。

CUDを普及・啓発するために、CUDOが公共物、刊行物、電子機器などの色彩設計において、すべての人に情報が伝わるデザインや色使いとすることを提案し活動^{1),2)}している。CUDに関しては、シミュレーションにより色弱者の特性をもとに色を変換し、その結果を表示するツールが多い。一般色覚者が擬似的に高齢者や色弱者の見え方を体験できるシミュレーションツールが注目され、色弱模擬フィルタ¹¹⁾が開発されている。色弱模擬フィルタを図2に示す。これは、特殊なフィルタが備えられたゴーグルタイプの眼鏡をかけることで色弱者の視覚特性を擬似的に体験できるものである。第1色弱と第2色弱をそれぞれ体験できるルーベ型¹²⁾も開発されている。眼鏡型の色弱模擬フィルタを用いて視覚障害者誘導用ブロックや道路標識、看板を対象に色弱者の見え方を体験する取り組みが報告されている。また、高齢者に多い白内障の疑似体験ゴーグル²²⁾も開発されている。一方、色覚シミュレータ Vischeck¹⁶⁾はWeb上で色弱者の見え方をシミュレーションするソフトウェアである。カメラで取得した動画をリアルタイムに変換し、高齢者と色弱者の色の見えをシ

ミュレートするシステム²³⁾や、高齢者の色覚をシミュレートする理論とそのツール²⁴⁾も開発されている。

以上のように、歩行空間のCUDを対象とした研究は少なく、単一の施設を対象に色弱者の見え方を疑似体験する活動にとどまっており、まちづくりや道づくりという視点でとらえられていない。

2.3 CUD活動の実践における課題分析

地域でのUD活動¹⁷⁾においては、住民参加型アプローチが不可欠であり、UD点検活動と啓発活動が必要である。その実践者にCUD実践のニーズを調査した結果、歩行空間をCUDに対応することは即座に実施できるものではないため、一般色覚者にCUDを教育し啓発することが重要であることが分かった。地域と大学の連携によるまちづくりが求められている²⁵⁾ため、学生や一般住民がCUDの知識を持ち、CUDに配慮したまちづくりを徐々に推進していくことが望ましい。そこで、CUD実践の場を「UD教育(専門教育)」と「まちづくりワークショップ」の2つの活動とし、本研究の対象とする。

UD教育では、福祉やUDの専門教育を受ける学生が、教員から知識を広く深く学ぶ。学生が社会に出てUDまちづくりを実践する際に、CUDにも配慮することが期待される。本学社会福祉学部の「生活環境デザイン論」では、UDを学ぶ一環としてCUDに対応したカレンダー、パンフレットや地下鉄路線図などを紹介しながら講義形式でCUDが説明される。受講後、現地へ行きUD実践の学外実習が複数回行われる。一方、まちづくりワークショップは、地域住民、行政、NPOとファシリテータが歩行空間の改善を議論し検討するための場である。UDのまちづくりワークショップでは、オリエンテーション、現地点検(障害者の疑似体験を含む)、グループディスカッション、ファシリテータによるまとめが行われる。

UD教育(専門教育)とまちづくりワークショップでCUD活動を実践するためには、以下の3つの課題がある。

(1) 時間的・空間的な制約がある

UD教育やまちづくりワークショップは、1人あるいは少数の大学教員やファシリテータが多数の人に向かって話を展開する形式である。集合型のUD教育やワークショップを実施するためには、時間的かつ空間的な制約がある。UD教育においては、UDを学び、実践するための授業時間の制約がある。現行の授業ではeラーニングの利用までは考えられていないが、オンラインでの予習・復習によりCUDをより良く学ぶことが教員より要望されている。一方、まちづくりワークショップでは、事前に定めた日程・時間に多くの人が集合しなければならない。時間的な制約により集合できない人や開催場所に行くことが困難な

人がいる場合がある。著者らが地域の UD 活動¹⁷⁾に取り組んできた経験より、集合できない参加者も含めてテーマをより深く理解するために、オンラインでの事前学習や事後検討、オンラインワークショップによる議論を行うことが求められる。

(2) CUD をまちづくり視点で学び実践することが難しい

UD 教育やまちづくりワークショップにおいて、屋外で現地点検や実践のフィールド活動を行うことが多い。参加者は、その活動前に、授業やオリエンテーションで CUD の基礎知識を学ぶ。ここでは、カレンダーや地下鉄路線図を使って説明されているため、参加者はまちづくり視点で CUD を理解することが難しい。また、フィールド活動は昼間に行われることが多いので、夕方や夜の点検活動を行えず、雨や雪によって活動を制限されることもあり、まちの状況を把握したうえで CUD を実践することが難しい。

(3) 色弱者の見え方の詳細な表現が難しい

眼鏡型の色弱模擬フィルタは第 1 色弱と第 2 色弱を複合させた見え方になっているため、第 1~3 色弱の特性別に見え方を詳細に表現することができない。一方、ルーベ型の色弱模擬フィルタは第 1 色弱と第 2 色弱をそれぞれ体験するものであり、第 3 色弱を対象としていない。また、ルーベ型は使用時に外光が入るため、周囲が明るいとの色の確認が難しい。歩行空間における色弱者の見え方の特性を正しく理解するために、第 1~3 色弱の見え方を詳細に表現できることが求められる。

3. システム提案

3.1 システム設計方針

CUD 活動の実践における課題を解決するために、3 次元歩行空間で一般色覚者が色弱者の見え方を体験する CUD 支援システムを提案する。UD 専門家との意見交換を経て、3 つのシステム設計方針を定めた。

(1) オンラインでのシステム利用

時間的・空間的な制約を解決するために、インターネット経由で CUD を体験できるようにする。UD 教育における予習・復習、まちづくりワークショップの事前学習、事後検討およびオンラインワークショップを行えるようにする。議論の場に集合することができない場合でも、オンラインでの利用によって遠隔で情報を確認できる。オンライン上で 3 次元データを円滑に操作するために、データの軽量化と簡易な操作が必要である。

CUD の実践場面とシステム形態を表 1 に整理する。UD 教育の流れは、(1) 予習、(2) 授業、(3) 復習、(4) フィールド活動・学外実習、(5) 授業、(6) 復習である。システムは、

表 1 CUD の実践場面とシステム形態
Table 1 Use case and situation of the system.

システム形態	対面・同期	遠隔・非同期
CUD 実践場面		
UD 教育 (専門教育)	授業	予習・復習
まちづくりワークショップ	フィールドワークショップ	事前学習・事後検討 オンラインワークショップ

授業では対面・同期で、予習・復習では学生により遠隔・非同期で利用される。まちづくりワークショップの流れは、(1) 事前学習、(2) 主催者によるオリエンテーション、(3) フィールド活動、(4) グループワーク・ディスカッション、(5) 事後検討である。本研究では、主催者によるオリエンテーションとグループワーク・ディスカッションをまとめてフィールドワークショップと呼ぶ。システムは、フィールドワークショップでは対面・同期で、事前学習・事後検討とオンラインワークショップでは遠隔・非同期で利用される。UD 教育におけるシステムの利用イメージを図 3 に、まちづくりワークショップにおけるシステム利用イメージを図 4 に示す。

(2) 3 次元空間データを用いた歩行空間の表現

CUD 知識をまちづくり視点で学ぶために、現実の歩行空間を 3 次元空間データによって整備し、歩行空間内で色弱者の見え方を体験するシステムとする。3 次元空間データの整備対象は、図 1 に示す歩行空間の構成要素のうち、道路 (歩道、路肩、植樹帯) と沿道建築物 (ビル、屋上看板、側面看板) とする。橋梁や道路付属物などの要素は、3.3.1 項に後述するデータ整備範囲 (岩手県盛岡駅前) あるいは 3 次元空間データの元資料 (共用空間データ) に存在しないため対象外とする。

本システムでは、3 次元歩行空間を CG によって表現する。3 次元歩行空間を表現するために動画や実写映像の採用が考えられるが、対象地域内の歩道や建物のすべての方向を撮影して網羅することは困難である。また、利用者が見たい場所や角度で映像を閲覧することには限界がある。一方、3 次元 CG では、利用者の意図に沿った動作を行いやすく、あらゆる角度と縮尺で視認できる。また、作成した 3 次元モデルを任意の向きで組み合わせることで街のモデルを作成し、変更・修正・改良することも容易である。

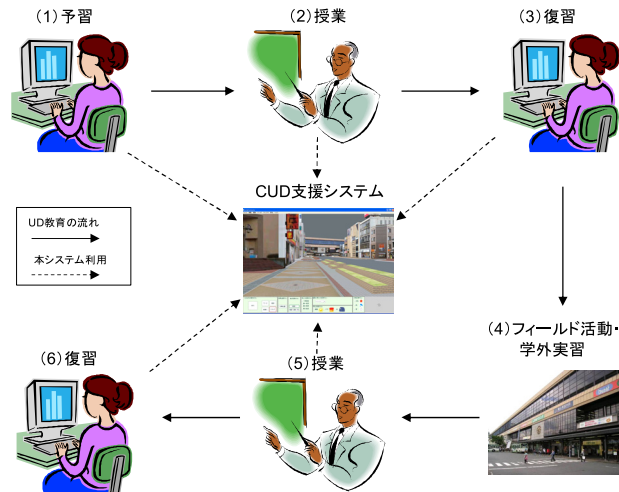


図3 UD教育におけるシステムの利用イメージ
Fig. 3 Use case of the system in UD education.

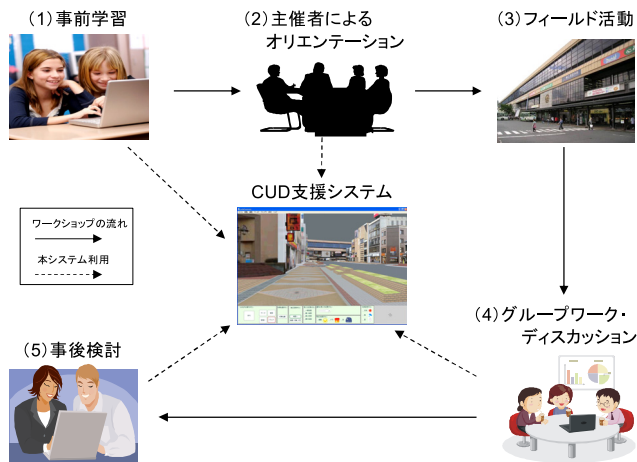


図4 まちづくりワークショップにおけるシステムの利用イメージ
Fig. 4 Use case of the system in workshop of town development.

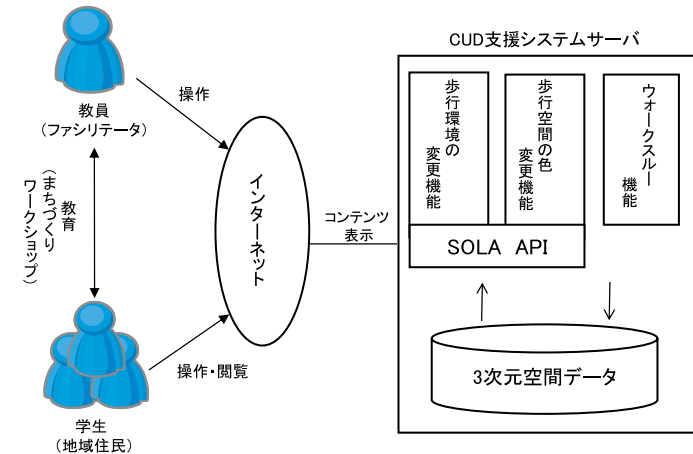


図5 システム構成
Fig. 5 System architecture.

(3) 色弱者の見え方の体験

色弱者の見え方は、第1色弱（赤視の欠失）、第2色弱（緑視の欠失）、第3色弱（青黄視の欠失）の3種類に分類される。本研究では、色弱者の見え方の特性を正しく理解するために、3次元歩行空間を構成する道路（歩道、路肩、植樹帯）と沿道建築物（ビル、屋上看板、側面看板）を3種類の見え方で表現する。

3.2 システムの構成と機能

3.2.1 システム構成

本システムの構成を図5に示す。本システムは、利用者のPCおよび各機能を備え3次元空間データを格納するサーバで構成される。利用者はPCからインターネット経由でサーバにアクセスし、3次元歩行空間内でCUDを体験する。3次元空間データには、MapCube（パスコ製）²⁶⁾を利用する。MapCubeデータは、レーザ測量データと2次元ベクタ地図をベースに構築され、形状モデルに実際の建物外観のテクスチャを貼付した3次元モデルである。テクスチャを第1～3色弱の見え方に対応させることでCUD支援に利用する。MapCubeデータの編集には3D作成ツールAutodesk 3ds Max（Autodesk製）を、ウォークスルー作成ツールにはSOLA（イークラフト製）²⁷⁾を使用する。ウォークスルーのフロントエンド部分は、FlashとSOLA APIを用いて機能を実装する。

3.2.2 システム機能

本システムでは、UD 専門家へのヒアリングにより要求を抽出し、以下の機能を開発することとした。

(1) 3次元歩行空間のウォークスルー

3次元空間データを用いたCGにより歩行空間内での自由な歩行（ウォークスルー）を実現し、利用者が見たい場所や角度でCUDを体験する。本機能により、歩行空間における第1～3色弱者の見え方を現実に即して体験する。3次元CGを用いて画面上に色弱者の見え方を表現するために、当初、1画面内で一般色覚者と色弱者の見え方を比較することを考えた。しかし、2つのCGデータを同時に動かすとネットワークとコンピュータの負荷が高いため、第1～3色弱の見え方のシミュレーションを選択することにより、その見え方を体験することにした。また、様々なITリテラシーレベルの利用者を考慮し、マウス操作のみで情報を閲覧できるものとする。

(2) 色弱者の見え方に対応した歩行空間の色変更

一般色覚者が色弱者の見え方を体験するために、歩行空間全体とその構成要素単位で第1～3色弱に対応して色を変更する機能とする。歩行空間全体の色変更により街並みの景観を確認し、その構成要素である歩道、ビルなどの色変更により周囲の景観と比較する。構成要素の色を変更する単位は、歩道、視覚障害者誘導用ブロック、植樹帯、屋上・側面看板を含む個々のビルとする。視覚障害者誘導用ブロックは歩道に含まれる要素であるが、UD専門家から要求があったため歩道と分けて開発する。

(3) 歩行環境の変更

色弱者は夕方の赤みがかかった状態や夜の暗さで見え方が変わるため、これを疑似体験できるように歩行環境を変更する機能として、昼・夕方・夜の明るさを変更する機能と晴れ・雨・雪の天候を変更する機能を開発する。

3.3 システム開発

本節では、3次元歩行空間において前節の機能を実現するシステムの詳細を述べる。

3.3.1 3次元空間データの整備

3次元空間データは、UD化の検討途上にある岩手県盛岡駅前通り約200mの範囲を対象に整備する。対象地域では、盛岡市の共用空間データ（縮尺1/500）が整備されている。共用空間データとその測量データをベースに、高さを与えて3次元空間データMapCubeを作成した。3次元形状モデル（図6）では、歩道と路肩はそれぞれ街区単位で、視覚障害者誘導用ブロック、植樹帯、ビル、屋上看板および側面看板はそれぞれ個々の構成要素単位で

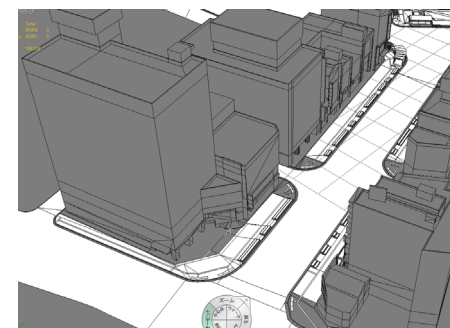


図6 3次元形状モデル
Fig. 6 3D shape model.



図7 テクスチャを貼付した3次元モデル
Fig. 7 3D model with texture data.

1つのモデルとして整備される。テクスチャは図6の各形状モデル内の線で区切った単位で貼付され、図7に示す3次元モデルが作成される。3次元空間データの整備時にはCUDを含めたUDに配慮した歩行空間を今後検討することを考え、歩道と路肩の精細なデータを現地で取得し、形状モデルに反映させた。テクスチャ用の写真は、現地でデジタルカメラで撮影した。

3.3.2 ウォークスルーデータの作成

システム開発にあたって、3次元空間データからウォークスルーデータを作成し、歩行空間を表現した。ウォークスルーデータの作成手順を以下に示す（図8）。

- MapCubeデータ（max形式）をAutodesk 3ds Maxに取り込み、形状モデルに貼付

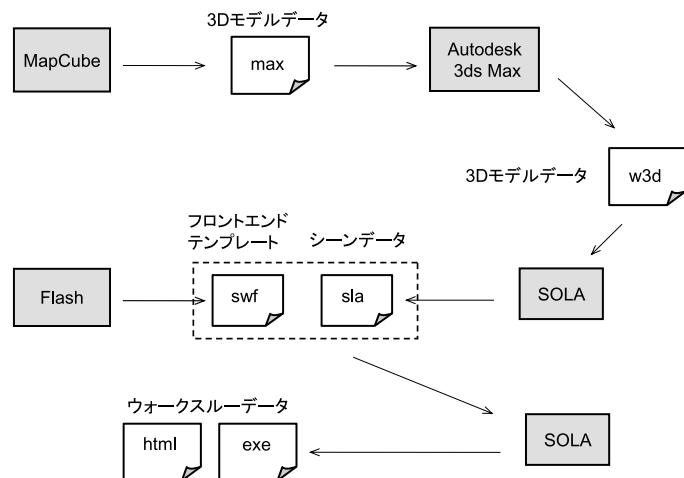


図 8 ウォークスルーデータの作成手順
Fig. 8 Build process of walk-through data.

するテクスチャを編集する。テクスチャは MapCube では tif 形式であるが、ウォークスルー作成ツール SOLA で読み込むため bitmap 形式に変換する。オンラインでシステムを快適に操作できるように、3次元データを軽量化するためにテクスチャの解像度を利用者に影響を与えない範囲で低く設定する（本システムでは、96 dpi × 96 dpi とした）。また、テクスチャを第 1～3 色弱の見え方に変更するために、Vischeck によって変換する。

- SOLA 用にデータを Shockwave3D (w3d) 形式で出力する。w3d データを SOLA で読み込み、テクスチャ名の重複解消、表面材質の設定、テクスチャメモリの最適化、ライティング調整を行う。そして、ウォークスルー空間を構成するシーンデータとして sla 形式ファイルを出力する。
- ウォークスルーのフロントエンド部は、Flash と SOLA API を用いた Action Script2.0 で記述される。これをフロントエンドテンプレートとして swf 形式に出力する。
- フロントエンドの swf ファイルとシーンデータの sla ファイルを SOLA で読み込み、最終的なウォークスルーデータとして exe 形式で出力する。exe 形式ファイルの容量は、約 15 MB である。この際、HTML 形式も出力する。



図 9 システム画面例（鳥瞰図）
Fig. 9 Example screen of the system (bird's eye view).

3.3.3 機能開発

本システムは画面への表示に HTML を用い、動作処理に Flash の ActionScript2.0 と SOLA API を用いて開発した。本システムでは図 9 に示すように 3次元歩行空間が CG で表示され、画面の下部が操作インターフェースとなる。

ウォークスルー機能は、前項のウォークスルーデータを SOLA に入力することにより実現した。3次元空間内でマウスをドラッグ操作することで、空間内を歩行できる。

色弱者の見え方に対応した歩行空間の色変更機能においては、歩行空間全体と、その構成要素である道路（歩道、路肩、植樹帯）と沿道建築物（ビル、屋上看板、側面看板）の第 1～3 色弱に対応したテクスチャを Vischeck によって作成した。Vischeck は色弱者の色の見え方に対応して画像ファイルを変換する無償ツールであり、画像の各ピクセルの R, G, B 値を色覚特性の錐体 L, M, S 値に線形変換する Brettel らのアルゴリズム²⁸⁾に基づいている。システムでは、歩行空間全体を第 1～3 色弱のチェックボックスによって、道路と沿道建築物それぞれをプルダウンによって選択しテクスチャを呼び出して、3次元歩行空間に色弱者の見え方を表現する。

歩行環境の変更機能における明るさ変更では、3次元の概念に昼や夜がないため、Vischeck で変換したテクスチャモデルに対して、SOLA API のライトノードの color プロパティを設定した。夕方については、第 1～3 色弱のシミュレーション結果に対して赤みがかった照明光を用いて表現した。また、天候変更では、雨や雪を Autodesk 3ds Max で作成するこ



図 10 システム画面例
Fig. 10 Example screens of the system.

とが可能であるが SOLA で利用できないため、SOLA 上で粒子を表現する機能を用いて作成した。

開発においては、4.1.1 項に後述する第 1 次評価においてユーザインタフェースの課題があったため、第 2 次評価用にシステムを改善した。システム画面例を図 10 に示す。図 10(a) は一般色覚者、図 10(b) は第 1 色弱、図 10(c) は第 2 色弱、図 10(d) は第 3 色弱それぞれの見え方を示す。システムの稼働には、Adobe Shockwave Player のプラグインが必要である。

3.3.4 利用者の操作

システムの操作インタフェースを図 11 に示す。本システムでは様々な IT リテラシーレベルの利用者を想定するため、簡易な操作が求められる。3 次元 CG を利用するために、経

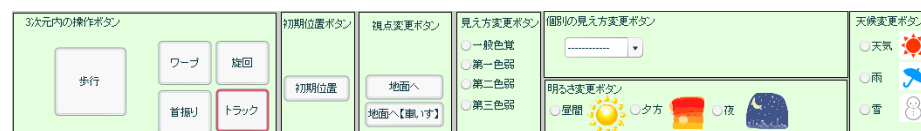


図 11 操作インタフェース
Fig. 11 Operation interface.

験したことのないワープ、旋回などの用語と操作に戸惑うことが考えられる。本システムでは、利用者が直感的にマウスのみで操作できる機能を開発し、3 次元特有のワープや旋回などの操作についてはマニュアルを整備し対応する。操作インタフェースでは、歩行（ウォークスルー）、ワープ（マウスクリック位置への移動）、旋回（上下軸と左右軸を中心とした回転）、首振り（上下左右の移動）、トラック（マウスドラッグによる移動）を用意し、3 次元空間内でドラッグすることで歩行などの移動を行える。また、第 1～3 色弱に対応した色、明るさ、天候を変更できる。

4. 評価実験

4.1 評価概要

CUD 実践場面である UD 教育（専門教育）とまちづくりワークショップにおいて、表 1 より、UD 教育においては授業（対面・同期）と復習（遠隔・非同期）で、まちづくりワークショップにおいてはフィールドワークショップ（対面・同期）とオンラインワークショップ（遠隔・非同期）でシステム評価を行った。評価実験では、3 次元空間データの整備範囲である盛岡駅前を対象フィールドとした。

UD 教育では、学生は福祉の専門教育と一般教養科目における情報教育を受講しているため、UD に関する知識と IT リテラシーは同等レベルである。一方、まちづくりワークショップでは、様々な背景を持つ参加者がいるため、UD に関する知識と IT リテラシーレベルは参加者によって異なる。ここでは、一般色覚者が色弱者の見え方を体験し理解することを評価するため、一般色覚者のみを評価者とした。

4.1.1 UD 教育における評価概要

(1) 授業（対面・同期）

本学社会福祉学部の「生活環境デザイン論」を受講する 3 年生 11 名を対象に、授業（2009 年 11 月 2 日）において第 1 次評価を行った。ここでは、システムの操作性と活用可能性を検証することを目的とした。著者らが研究概要を説明し、システム機能を解説しながら操作し

た。その際、プロジェクトを用いた対面式で行い、システムをオフライン状態で見せた。その後、学生が1人ずつシステムを操作した。なお、第1次評価では、歩行環境の変更機能を実装していない。さらに、第1次評価で得られたユーザインタフェースの課題を改善し、第1次評価と同様に生活環境デザイン論の授業（2010年1月28日）において、3年生13名を対象に第2次評価を行った。ここでは、対面式でシステムをオンラインで稼働させた。

(2) 復習（遠隔・非同期）

CUDを学ぶ授業の復習を遠隔・非同期で行うシステム評価として、第2次評価の授業後に著者から参加者13名にメールを送付し、オンラインでシステムを利用した復習での評価を依頼した。メール本文にはシステムURLを記載し、アンケートと操作マニュアルをファイル添付した。

4.1.2 まちづくりワークショップにおける評価概要

(1) フィールドワークショップ（対面・同期）

フィールドワークショップを想定し、まちづくりやUDのワークショップのファシリテータ経験を有するUD専門家2名を対象に、ファシリテータとしてCUDを参加者に説明する視点で評価してもらった。UD専門家に対しては、対面式でオフラインのPCでシステムを見せながら説明し、操作後にヒアリングを行った。なお、このときは歩行環境の変更機能を実装していない。

(2) オンラインワークショップ（遠隔・非同期）

本研究ではオンラインワークショップ用のシステムを新規に開発せず、既存のオンラインコミュニティである滝沢村地域SNS²⁹⁾にCUD支援コミュニティを設置し、システムをリンクして評価した。地域SNSにすでに参加している大学教員、自治体職員、NPO代表、大学生の計6名が利用した。ここでは、オンラインワークショップを実施するための要件について意見を出してもらうことを目標とした。

4.2 評価結果

4.2.1 UD教育における評価結果

(1) 授業

授業における評価結果を図12に示す。操作性（質問1,2）については、約60%が肯定的な評価であった。自由記述には「（操作が）ときどき難しかった」、「デモを見ていると簡単そうだったが、自分で操作するとやや難しかった」という意見があった。活用可能性（質問3~5）については、肯定評価が80%以上であった。自由記述には「色の見え方の違いがよく分かった」、「こんなに違いがあるとは思わなかった」、「実際に街に出て体験する前にこ

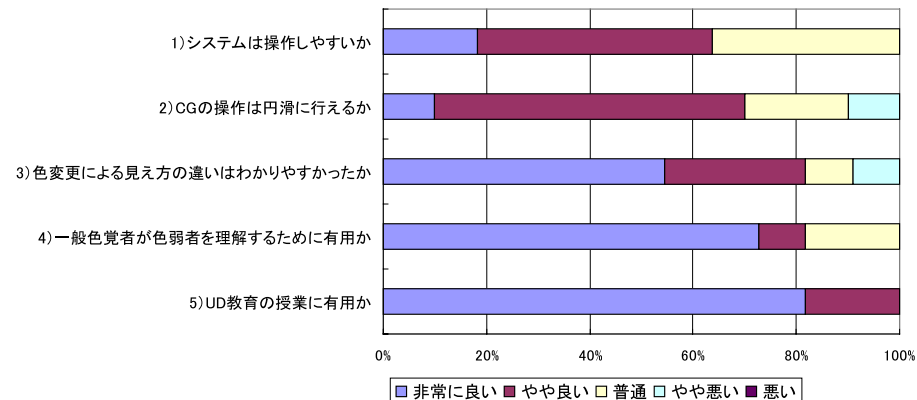


図 12 授業におけるシステム評価結果

Fig. 12 Results of the system questionnaire in class.

のシステムを使えば、すぐ外で体験するよりも視野を広げて考えられると思う」、「第1色弱と第2色弱の区別が分かりにくいので、説明があると良い」という意見があった。

(2) 復習

13名の受講者に復習での評価を依頼し、7名から回答を得た。ただし、このうち2名はシステムが動作しなかったという回答であった。回答のなかった6名もシステムを利用できなかった可能性がある。これは、3次元データやテキストがPCのメモリ不足のため表示されないことと、初めて利用する際にプラグイン（Adobe Shockwave Player）が必要であり戸惑ったことが原因であると考えられる。システムを利用した5名については、操作性に関する質問「システムは操作しやすいか」と「CGの操作は円滑に行えるか」ではそれぞれ5名と4名、活用可能性に関する質問「UD教育の復習で有用か」では5名が、「非常に良い」あるいは「やや良い」という肯定的な評価結果であった。自由記述には、操作に関して「パソコン操作に慣れていないため、システムに慣れるまでは操作が難しかった」、活用に関して「街が実際と同じであるため想像しやすい」、「勉強したことをもう1度見直すことができ良い」という意見があった。

4.2.2 まちづくりワークショップにおける評価結果

(1) フィールドワークショップ

まちづくりワークショップのファシリテータの豊富な経験を有するUD専門家2名にヒアリングを行った結果、色の変更によって街並みを比較できる点でワークショップにおいて



図 13 地域 SNS における CUD 支援コミュニティ
Fig. 13 Online community of the system in regional SNS.

十分利用できるとの意見を得た。特に、3次元CGにより街を詳細に表現でき、利用者が空間内を自由に移動できる点、屋内でシミュレーションできる点、まちづくり視点の教育ツールとして研修で利用できる点で好評価であった。

システムへの要望として、「3次元歩行空間に信号機があると、一般色覚者が色弱者の見え方を理解しやすい」、「色が変化する箇所を分かりやすくするとよい」、「車椅子をシステム上に表示し、歩道の傾斜などUD全般に対象を広げられるとよい」という意見があった。

(2) オンラインワークショップ

滝沢村地域 SNS に CUD 支援コミュニティを設置し、システムを稼働している例と意見例を図 13 に示す。コミュニティでは、2名から以下の意見が投稿された。

- 最初のシステム起動時にプラグインが必要であるが、それを事前に説明しておかないと、参加者の IT リテラシーレベルによっては、戸惑う人がいるだろう。
- 複数人がオンラインで同時に参加すると想定した場合、発言者がどのような画面状態を見

- で発言しているのが分かれば、他の参加者がその発言の意図を理解しやすくなる。
- 自分が見ている画面と他の人（発言者）の画面の両方を見ることができるようになるとよい。
- 参加者がチャットで議論を行うとすれば、このシステム画面（横や下）にそのコメントが表示されるようにすれば、分かりやすくなる。
- ルート案内や学びの要素があればおもしろい。

5. 考 察

本章では、システム評価実験の結果より、UD 教育とまちづくりワークショップにおけるシステム利用を考察し、本研究の意義を示すとともに、課題とその解決策を述べる。

5.1 UD 教育におけるシステム利用

システムの操作性については、授業では著者らが操作者となって説明したため、受講者は初めてシステムを利用する場合でも負担なく操作できた。復習では授業で操作を経験したため操作できた学生がいたと考えられるが、PC 環境の問題でシステムを利用できなかった学生が多かった。この解決のため、システムが稼働する環境を検証し明らかにすることや、3次元空間データを分割して軽量化することが考えられる。

また、アンケート結果では、授業と復習においてシステムを活用できる可能性が示された。従来の授業では、既存の印刷物を利用して CUD を説明していたため、受講者はまちづくり視点では街中での CUD をイメージし理解することが難しかった。評価実験では、システムで体験した内容に基づき授業が展開されたことから、本システムを UD 教育で活用できることが示唆された。授業カリキュラムにおける本システムの利用について大学教員に調査したところ、UD の基礎知識が前提であることから、講義 2 回程度で UD を学んだ後にシステムで CUD を体験し、さらに現地実習を行った後、最終回にシステムで確認することができるとの意見を得た。

本研究では UD 教育の予習での利用を検証していないため、予習を対象にした評価を行うことが望ましい。評価実験では、予習での利用を想定した「授業を受ける前にシステムだけを与えられても、どのような点に着目して操作すればよいか知識のない人は困ってしまう」という意見があった。予習時には利用者に CUD の知識があまりなく着目すべき点が不明であることをふまえ、注目する箇所を事前に説明すること、およびシステム操作中に注目すべき箇所を画面上で表示することの改善が必要である。

5.2 まちづくりワークショップにおけるシステム利用

フィールドワークショップにおいては、実際にワークショップを開催した結果ではないが、豊富なファシリテータ経験を有する専門家による評価を受けた。3次元CGにより、色弱者の見え方を大人数で1度に体験でき歩行空間を理解しやすい点、フィールド活動を行う前に本システムを利用すれば視野を広げてまちづくりを考えられる点でシステムを活用できる可能性が示された。

オンラインワークショップにおいて議論を記録し合意形成に至る過程は、地域SNSなどのコミュニケーションツールを用いることにより可視化される。地域SNS上で意見を投稿したのは、自治体勤務経験を有する大学教員と自治体職員の2名であった。他の参加者も同等レベルのITリテラシーを有するので、システム操作に困難があったわけではなく、CUDの視点から意見を述べるができなかったと考えられる。CUDを進めるうえで専門的な知識がなければ、事前学習を行うことができず、オンライン上で意見を述べることもできない。また、遠隔利用であるため、どの場所について議論しているか不明確であると推察される。そこで、実験結果より得られた、オンラインワークショップを実施するための要件を以下に整理する。

- CUDの前提知識の提供
- CUDについて意見を投稿する際の3次元空間の状態の記録
- 3次元空間において注目すべき箇所や、利用者が意見を投稿した箇所などの吹き出しによる表示
- 複数の参加者が同時に利用する場合、自分と相手の複数画面の表示
- オンラインワークショップを同期型で行う場合のチャット機能
- プラグインにおけるITリテラシーが低い利用者への配慮

5.3 本研究の意義

一般色覚者はこれまで色弱という言葉は知っていても、色弱者がどのように見えるかを理解していなかった。一方、色弱者は自分がどのように見えているか、何が見えにくいかを伝える術を持っていなかった。本システムによって歩行空間でのCUDを可視化することで、両者がお互いを正しく理解することを支援できる。CGによって色弱者の視覚特性を体験することにより、色が主観であることを再認識し、CUDを浸透させることができる。

本研究では盛岡駅前をフィールドとして3次元空間データを整備した。他地域でのシステム利用を考えると、UD教育ではCUDを理解することが目的であるため、当該地域の3次元空間データを整備する必要はなく、本システムを十分活用できる。まちづくりワーク

ショップで利用する場合も、CUD知識を得る場面では本システムを利用できる。ただし、既存の歩行空間を即座にCUDに対応させることは難しい。本研究により、将来のまちづくりを担う福祉を学ぶ学生と地域住民がCUDを理解し、知識を深められる可能性が高いことが分かった。本システムでCUDの知識を得た学生や地域住民が、CUDを普及・啓発していくことが望ましい。

5.4 課題とその解決策

本研究をとおして得られた課題を以下の4点に整理する。

1点目は、CUD知識の提供である。本システムでは教員やファシリテータなどの専門家による口頭でのCUDの知識教授を前提としているため、システムを利用するだけではCUDの知識を十分に得ることは難しい。予習・復習でシステムを利用するために、チュートリアル作成やeラーニングシステムの導入が考えられる。

2点目は、まちづくりワークショップでシステムを利用するための機能改善である。オンラインワークショップのシステム要件である、3次元歩行空間内で色を変更した注目すべき箇所や意見投稿箇所を表示する機能などを改善する予定である。

3点目は、3次元空間データの整備である。地域の改善を目的とするまちづくりワークショップで利用する場合、当該地域の3次元空間データを整備することが望ましい。そのため、3次元空間データを整備するための工夫が必要である。既存の地図データをもとに高さデータを概算で与える方法や、既存の形状モデルをもとにデータを作成する方法が考えられる。

4点目は、本システムのさらなる実証である。本研究はCUD体験システムの提供が主題であり、操作性と活用可能性を中心に評価した。今後は、CUDに関する評価項目をCUD体験学習による内容やレベルに応じて設定し、教育効果を検証する必要がある。一方、まちづくり、あるいは道づくりにおいてCUDの課題発見と代替案の検討などは、実例や検証が少ない。UD道づくりの7原則⁴⁾は、図14に示す安全、安心、単純、柔軟、優しく、公平、一貫して行動、移動できる道である。歩行空間をCUDに対応することは、7原則を満足するために必要な要素である。本システムで得られる知識をCUDの課題発見に利用する検証を行いたいと考えている。そのために、教育用Webページを作成し、教員と学生がシステムを利用できる環境を構築し、UD教育の授業で実証を積み重ねるとともに、予習と復習での効果を検証する。また、フィールドワークショップの開催に至っていないため、UD知識とITリテラシーのレベルの異なる地域住民が参加するワークショップを開催し、システムを検証する。

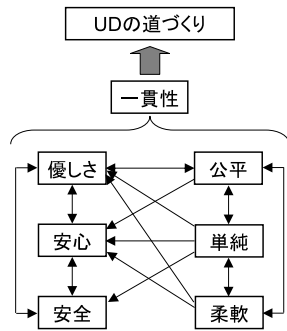


図 14 UD の道づくりの 7 原則⁴⁾
 Fig. 14 Seven principles of road for UD⁴⁾.

6. おわりに

本研究では、CUD に配慮したまちづくりを実現するために、一般色覚者が色弱者の見え方を体験し CUD の知識を得ることが必要であると考え、歩行空間における CUD 支援システムを開発した。まず、CUD 実践の場を「UD 教育（専門教育）」と「まちづくりワークショップ」の 2 つの活動とし、CUD の実践における課題を分析した。次に、課題分析をもとに、システム設計方針として、オンラインでのシステム利用、3 次元空間データを用いた歩行空間の表現、色弱者の見え方の体験の 3 つを定めた。システムでは、道路と沿道建築物から構成される歩行空間の 3 次元空間データを整備し、ウォークスルー、色弱者の見え方に対応した歩行空間の色変更、歩行環境の変更の各機能を 3 次元 CG で実装した。

システムの操作性と活用可能性を評価するために、岩手県盛岡駅前をフィールドとして、UD 教育とまちづくりワークショップにおける実験を行った。その結果、UD 教育においては、授業と復習でシステムを活用できる可能性が高いこと、およびオンラインでのシステム操作には課題があることが分かった。一方、まちづくりワークショップにおいては、フィールドワークショップでファシリテータが地域住民に CUD 知識を説明するために活用できる可能性が高いことを示し、オンラインワークショップのシステム要件を明らかにした。

UD に配慮した歩行空間の整備は、高齢者や障害者を含むすべての人への配慮から急務である。歩行空間ではこれまで CUD が考慮されていなかったが、UD の重要な要素としてとらえられていくと考えられる。本システムは、今後のまちづくりを担う学生と地域住民が

CUD の知識を得て、CUD を普及・啓発するために利用可能である。今後、本システムの UD 教育やまちづくりワークショップでの実証を積み重ね、歩行空間を UD 化するための知見を増やす予定である。

謝辞 本研究の遂行にあたり、岩手県立大学ソフトウェア情報学部の市川尚講師からご助言をいただいた。システム評価にあたり、岩手県立大学社会福祉学部「生活環境デザイン論」の受講者、小樽商科大学社会情報学科の深田秀実准教授、および、もりおか障害者自立支援プラザの大信田康統所長にご協力いただいた。なお、本研究の一部は、岩手県立大学全学研究費連携研究によって行った。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 栗田正樹：色弱の子を持つすべての人へ，北海道新聞社 (2008).
- 2) カラーユニバーサルデザイン機構：カラーユニバーサルデザイン，ハート出版 (2009).
- 3) 須長正治：特集「カラーユニバーサルデザイン最先端」特集にあたって，日本色彩学会誌，Vol.32, No.1, p.24 (2008).
- 4) 樗木 武，梶田佳孝：道路の計画とデザイン ユニバーサルデザインの道づくり，共立出版 (2004).
- 5) 石川県工業試験場，金沢美術工芸大学，カラーユニバーサルデザイン機構：カラーユニバーサルデザインガイドライン ひとにやさしい暮らしづくり (2009).
- 6) 高橋正良，川原克美，加藤耕一郎：協働による自転車まちづくり，国土交通省北陸地方整備局資料．http://www.hrr.mlit.go.jp/library/kenkyukai/H21/0729/29_kurashi/07_niikoku.pdf (参照 2010.4.16).
- 7) 国土交通省：自律移動支援．<http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jiritsu/index.html> (参照 2010.4.16).
- 8) 後藤浩一，松原 広，深澤紀子，水上直樹：駅環境における携帯端末を用いた視覚障害者向け情報提供システム，情報処理学会論文誌，Vol.44, No.12, pp.3256-3268 (2003).
- 9) 矢入 (江口) 郁子，猪木誠二：高齢者・障害者を含むすべての歩行者を対象とした歩行空間アクセシビリティ情報提供システムの研究，情報処理学会論文誌，Vol.46, No.12, pp.2940-2951 (2005).
- 10) 矢入 (江口) 郁子，猪木誠二：高齢者・障害者の移動を支援するユビキタスシステム研究と成果の技術移転，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.2, pp.770-779 (2007).
- 11) 宮澤佳苗，中内茂樹，篠森敬三：カラーユニバーサルデザインツールとしての色弱模擬フィルタ，日本色彩学会誌，Vol.32, No.1, pp.31-36 (2008).
- 12) Variantor™ pancake P/D パンフレット (2009). <http://www.variantor.com>
- 13) Jefferson, L. and Harvey, R.: Accommodating Color Blind Computer Users, *Proc. 8th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ACM, pp.40-47 (2006).

- 14) Jefferson, L. and Harvey, R.: An Interface to Support Color Blind Computer Users, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp.1535-1538 (2007).
- 15) 色覚シミュレーションモニター . <http://www.eizo.co.jp/products/discontinued/u/files/FlexScanU.pdf> (参照 2010.4.16).
- 16) 須長正治: 色覚バリアフリーデザイン支援ツールと教材の開発, *日本色彩学会誌*, Vol.32, No.1, pp.37-43 (2008).
- 17) 阿部昭博, 狩野 徹, 大信田康統, 小田島直樹, 宮井久男: 住民参加型アプローチによるユニバーサルデザイン活動支援システムの開発, *情報処理学会論文誌*, Vol.46, No.3, pp.753-764 (2005).
- 18) 米田信之, 市川 尚, 窪田 諭, 阿部昭博: 車椅子利用者のための協調型観光支援システムの開発と評価, *観光情報学会誌「観光と情報」*, Vol.5, No.1, pp.45-58 (2009).
- 19) 小山嘉紀, 林 明倫, 岡部一光, 三宅新二, 横田一正: 仮想 3D 空間を用いた要介護者観光旅行支援システムの開発と評価, *情報文化学会*, Vol.15, No.2, pp.32-39 (2008).
- 20) 仲野 良, 水永宏美, 会田義明, 本田圭一, 村木英三郎, 小杉 信: 3次元景観画像による通学路の疑似体験システム, *映像情報メディア学会技術報告*, Vol.25, No.27, pp.7-12 (2001).
- 21) 和泉信生, 古谷洋一郎, 石村俊幸, 吉田隆一: 施設におけるバリアフリー情報の三次元地図としての視覚化, *情報処理学会研究報告*, 2004-CG-117, pp.97-102 (2004).
- 22) 小浜朋子: 白内障疑似体験ゴーグルの開発, *日本色彩学会誌*, Vol.32, No.1, pp.49-53 (2008).
- 23) 神戸 秀, 岡嶋克典: 動画像処理による色覚特性シミュレーション, *日本色彩学会誌*, Vol.30 (SUPPLEMENT), pp.46-47 (2006).
- 24) 岡嶋克典: 高齢者色覚シミュレーションの理論と実際, *日本色彩学会誌*, Vol.32, No.1, pp.44-48 (2008).
- 25) 小林英嗣: 地域・大学連携まちづくり研究会: 地域と大学の共創まちづくり, 学芸出版社 (2008).
- 26) MapCube. <http://www.mapcube.jp/index1.html> (参照 2010.4.16).
- 27) SOLA5. <http://www.eee-craft.com/sola> (参照 2010.4.16).
- 28) Brettel, H., Vienot, F. and Mollon, J.D.: Computerized Simulation of Color Appearance for Dichromats, *Journal of the Optical Society of America A*, Vol.14, No.10, pp.2647-2655 (1997).
- 29) 滝沢村地域 SNS . <http://takizawa-sns.jp> (参照 2010.4.16).

(平成 22 年 4 月 17 日受付)

(平成 22 年 10 月 4 日採録)



窪田 諭 (正会員)

1975 年生 . 1998 年関西大学工学部土木工学科卒業 . 2000 年同大学大学院工学研究科博士課程前期課程修了 . 同年 (株) オージス総研入社 . 2008 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師 . 現在に至る . 地理情報システム, 社会基盤情報の研究に従事 . 博士 (工学) . 地理情報システム学会, 日本社会情報学会, 土木学会, 観光情報学会各会員 .



関 博之

1987 年生 . 2010 年岩手県立大学ソフトウェア情報学部卒業 . 在学中はカラーユニバーサルデザイン支援システムの研究に従事 . 現在, 株式会社インテックに勤務 .



狩野 徹

1957 年生 . 1981 年横浜国立大学工学部建築学科卒業 . 1983 年同大学大学院工学系研究科修了 . 1991 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了 . 博士 (工学) . 1988 ~ 1999 年 (財) 東京都老人総合研究所 . 1999 年岩手県立大学社会福祉学部助教授, 2005 年同教授 . 建築計画学において高齢者の心身機能と物理環境との関係を行動面からとらえる研究に従事 .

日本福祉のまちづくり学会東北支部長, 日本老年社会科学会評議員, 日本認知症ケア学会評議員, 都市住宅学会会員, 日本建築学会会員 .



阿部 昭博 (正会員)

1962 年生 . 1985 年図書館情報大学卒業 . 同年 (株) 富士通東北システムエンジニアリング . 1988 ~ 1998 年松下電器産業 (株) . その間, 1996 年筑波大学大学院経営・政策科学研究科修士課程修了 . 1998 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程中退 . 同年岩手県立大学ソフトウェア情報学部講師 . 同助教授を経て, 2006 年同教授 . 博士 (学術) . 地域情報システム等の研究に従事 . 地理情報システム学会, 日本社会情報学会, 観光情報学会, ACM 各会員 .