

バーチャル・リアリティおよびアニメーションによる 3次元地理教材の開発と利用

Development of Three-dimensional Materials for Geographical Education by Virtual Reality and Animation

橋本 雄一*
Yuichi HASHIMOTO*

キーワード：地理教育, GIS, バーチャル・リアリティ (VR), 3次元教材, アニメーション

Key words : geographical education, GIS, virtual reality (VR), three-dimensional teaching materials, animation

Abstract

This study clarified the education effect by utilizing GIS and virtual reality (VR) tools in geographical education. For this purpose, this research created the two type materials for geographical education, 'operation-type materials' and 'appreciation-type materials', and compared those effects. These teaching materials were made using 3D data, GIS, and VR technology, and the materials had the functions of perpendicular viewpoint movement, horizontal viewpoint movement, angle change, and map element change. The operation-type materials and the appreciation-type materials were used in the lecture of a university and a high school and this study argued the difference of the education effects between the two materials. As a result, the operation-type materials were suitable to make a student discover something and raise interest, and the appreciation-type materials were suitable to transmit knowledge to a student efficiently for a short time. If the operation-type and appreciation-type teaching materials are used together, we can increase the search volition of geographical knowledge from a student besides. The accumulation of geographical knowledge heightens the spatial reasoning capacity of student each. Furthermore, the improvement in spatial reasoning capacity enlarges the search volition. The 3D teaching materials created by GIS and VR have high effects in the geographical education in order to make the above circulation during session of a school.

I. はじめに

従来から地理教育の目的には、人々の生活の地域的特色とその動向を、自然環境や社会環境との関わり合いにおいて理解させ、現代世界に対する地理的な認識を養うことが含まれる。この地理的認識を養うために地理教育では、空間概念と結びつけて社会や自然に関する知識を教え、屋外での

実地研修や巡検を通じて、この知識を体験的に学習者に伝達する（橋本, 2003a）。

地理教育を受ける学習者は、屋内外での授業や体験によって、空間知識の蓄積を行い、それらを体系化していく。発達心理学の分野では、人間の成長に伴って空間認識に関するルート的視点がサーベイ的視点に移り変わり（Piajet and Inhel-

*北海道大学大学院文学研究科

*Graduate School of Letters, Hokkaido University

der, 1967; Siegel and White, 1975; 谷, 1980; 浅村, 1996), それは空間知識の蓄積と体系化によるという研究結果が, 数多く報告されている(岡本, 1995; 若林, 1999)。そのため地理教育は, 空間認識を高度化させる役割を担うといえる。

現代の地理教育において, 世界に対する地理的認識力や, 高度な空間認識力を養成するために, バーチャル・リアリティ(以後, VRと記す)の技術が活用できると思われる。近年のコンピュータ技術の発達により手近になったVR技術により, 学習者は, 現実世界で地物などと相互に影響を及ぼしあうのと同じ様に, コンピュータの情報として生成される対象と相互に影響を及ぼしあう環境に身を置くことができる。

この技術を用いる利点としては, 第1に, 外部から人間に一方的に情報が流れ込むのではなく, VRの作り出す対象と相互に情報の受け渡しができ, 影響しあえる点で高度かつ柔軟な情報伝達が行えることが挙げられる(Kalawsky, 1993)。そのため, 学習者は興味に応じて操作を行うことによって仮想の世界に働きかけ, 空間的な認識を高めるための作業を試みることができる。第2の利点としては, 現実では実行することが困難な体験を, シミュレーションによって行うことができる。学習者が現実には見ることができない様な場所から地表を眺めたり, 現実世界では多くの被覆物で隠されている場所の地表面を観察したりする場合に, この利点が生かされる(Hashimoto and Nakamura, 1994; Hashimoto and Iwasaki, 1998; 橋本, 2000; 橋本, 2003b)。

Ellis (1991)によるとVRの仮想世界は, ジオメトリ, コンテンツ, ダイナミクスの3つの要素によって構成される。ジオメトリとは, 位置データを持った物理的広がりのことであり, 地図などで示される範囲がこの要素に当たる。コンテンツは, 仮想世界における対象物であり, 地図に掲載される地物などの要素が, これに対応する。ダイナミクスとは, コンテンツ間の相互作用のことであり, 現実世界で起きている情報交換の形を仮想世界でも再現する様に設定された規則である。例えば, 視点を移動させた時に任意の地形の見え方は変わるが, この景色の変化を仮想世界でも再現するよう設定した規則がダイナミクスである。こ

れらの要素は, 教育の中で地理情報を整理して伝えるための枠組みとして用いることができる。特に, コンテンツは地物などの地図要素, ダイナミクスは立体地図を見るときの視点移動に関するものであり, 地理教育の空間認識力養成に重要な要素と思われる。

この仮想空間内における各種シミュレーションを, MaKechnie (1977) は概念的シミュレーション, 静態的シミュレーション, 動態的シミュレーションとして整理している。この概念的シミュレーションは仮想世界における環境の抽象的な内容を説明する方法であり, 静態的シミュレーションは具体的な環境を静止画として表示する方法である。また, 動態的シミュレーションは仮想世界における環境の変化などを動画として表示する方法である。現在, 地理教育で多く用いられているのは静態的シミュレーションの成果であり, これは紙媒体など表示方法の制約による。しかし, 各学校における視聴覚教室やパソコン教室の整備, 画像を再生できる携帯電話などの普及によって, 動画の活用機会は増えつつある。そこで, 本研究はVRにおける動態的シミュレーションの成果の活用について検討する。

なお, この動態的シミュレーションは, VR利用者の行動の制約が小さい能動的シミュレーションと, 制約の大きい受動的シミュレーションとに分けられ(Weisman et al, 1987), それぞれの利用方法や効果について検討が行われている。これを地理教材として考えると, 能動的シミュレーションは, 条件をVR利用者が入力し, その操作に対応して変化する環境をリアルタイムの動画として見る方法である。このシミュレーションのための素材を, 本研究では操作型地理教材と呼ぶ。また, 受動的シミュレーションは, 任意の条件の下に再現される環境をアニメーションなどの動画によって鑑賞する方法であり, このシミュレーションのための素材を, 本研究では鑑賞型地理教材と呼ぶ。本研究では, これらVRによる操作型地理教材と鑑賞型地理教材の利用方法を検討し, それによって得られる教育効果を明らかにする事を目的とする。

そのために, まずVRの仮想世界を構成する要素を, 教材の動作の面から検討する。具体的には,

国土数値情報の標高のデータで作られた3次元空間において地形などの説明を行う場合、視点移動や地図要素の組み合わせにより、いかなる地理教材の利用ができる、それによって、どの様な教育効果が期待できるかを検討する。次に、この視点移動や地図要素の組み合わせを取り入れた操作型と鑑賞型の地理教材を開発し、それぞれの特徴を整理する。その際には、Lobben (2003) のアニメーション教材に関する考察結果と比較しつつ、両教材の利点および欠点について論じる²⁾。その後、それらを用いて授業を行い、学習者の反応から教育効果について両教材の検討を行う。

II. 3次元地理教材の利用

1. 3次元地理教材における動作の種類

地理教育で用いられる3次元教材は、地形の立体図など位置データと属性データから成る空間情報を3次元的に可視化したものが一般的である。中学や高校の地理の教科書でも、地形の特徴を説明するために3次元のイラストを用いているが、これは現実の世界に存在する地物について3次元表示した方が2次元表示したものよりもイメージしやすいことによる。この3次元の地理教材を有効に利用するためには、静止画として見せるだけでなく、画像に様々な動作を加えて3次元という特性を生かす必要がある。

教材である3次元画像の動かし方としては、垂直的視点移動、水平的視点移動、垂直的および水平的角度変更があり、これらを併用することで複雑な動きを演出することが可能となる。この視点移動に加えて、属性である地図要素の変更を行うことにより、3次元教材として考え得るすべての

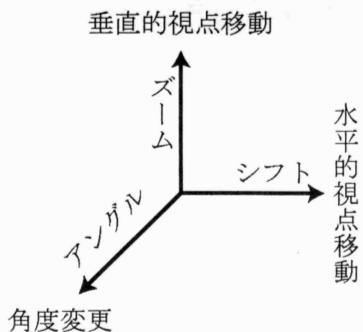


図1 視点移動の3要素

動作を演出することができる。

3次元教材における垂直的視点移動はズーム機能によるものであり、これによってスケールの変更を行える。水平的視点移動はシフト機能によるものであり、観察目標とする地域（以後、目標地域と呼ぶ）を変更することが可能である。垂直的および水平的な角度変更はアングル機能によるものであり、観察者と目標地域との角度を変更できる（図1）。地図要素の変更は、視点移動とは関係ないが、目標地域の属性を変化させることにより、地図の内容を変化させる。この要素の変更によって、若年人口と老年人口の様に異なる項目の分布比較を行うことや、過去から現在にかけて時系列的に人口の分布変化を見ることなどができる（図2）。

これらの動きを複合すると、より複雑な動作を行うことができる。視点移動のみを取り上げると、垂直的視点移動と水平的視点移動の複合、垂直的視点移動と角度変更、水平的視点移動と角度変更、3つの視点移動すべての複合という4つの動きの組み合わせを行える。これらに、地図要素の変更を併せるとさらに多様な動きを見せることができる。これらの組み合わせは、動きによって得られる教育効果によって選択される。

3次元的な地理教材は、一種のVRによるものであるが、その利用方法としては、学習者が自分で操作を行って画像を動かす場合と、あらかじめ教材の動きをアニメーションなど動画として記録して学習者に見せる場合とが考えられる。これらの方法には、それぞれ利点と欠点があり、3次元

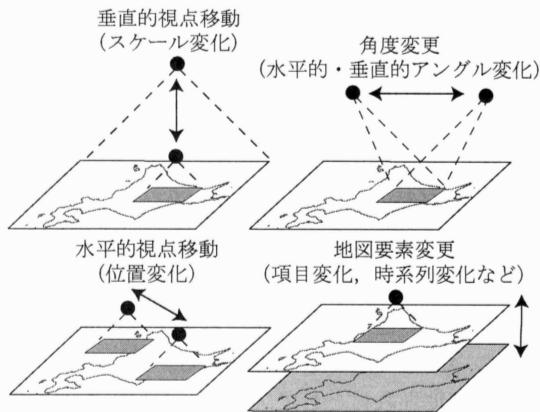


図2 視点移動と地図要素変更

教材の動作の種類ごとに教育効果が違ってくる。そこで以下では、3次元教材の各動作について教育効果を検討した後、学習者が自分で操作する場合と、アニメーションなど動画として見せる場合を比較し、利用方法の使い分けについて考察を行う。

2. 垂直的視点移動

垂直的視点移動は、観察者が高度を変えて視点を移動させることを指す。観察者が視点の高度を上げれば、より広い範囲を見ることができ、逆に高度を下げれば狭い範囲を見ることができる。なお、その際、観察者と目標地域との角度は一定とする。

目標地域に関する地形の把握を例にすると、山や湖など任意の地形を詳細に観察した後、それらを広範囲の中で位置づけることができる。図3は北海道東部の屈斜路湖周辺の立体図であり、最も低い高度で描いた狭い範囲の図から屈斜路湖が山地に囲まれた湖であることがわかる。しかし、高度を上げると屈斜路湖はカルデラの西側に位置する湖であることがわかり、さらに高度を上げると、そのカルデラは知床半島の火山帯の南西端にあることが理解できる。この様に、垂直的な視点移動による学習効果としては、異なるスケールの地域に接することで、異なる情報が得られ、それらを統合して新たな知識を作り出すことが期待できる。

学習者が自分で操作して3次元地理教材のスケール変更を行う場合、ズーム機能を用いて、広い範囲の中で目標地域を探して拡大することになる。この時、目標地域の探索をどの様に行うのかが操作上の問題となり、地名や地物の表記があれば、それを目印に図の拡大を行うことができる。また、山、川、海岸線の形状なども小地域を特定するための目印となる。この様な探索を行って、スケール変更を繰り返すことにより、学習者は当該地域における詳細な情報を収集する様になる。さらに、この作業から学習者は、広い範囲の地域と狭い範囲の地域という異なるスケール間の関係性についても理解できる様になる。

鑑賞型地理教材としてアニメーションなどを学習者に見せる場合、動画によって注目させたい地

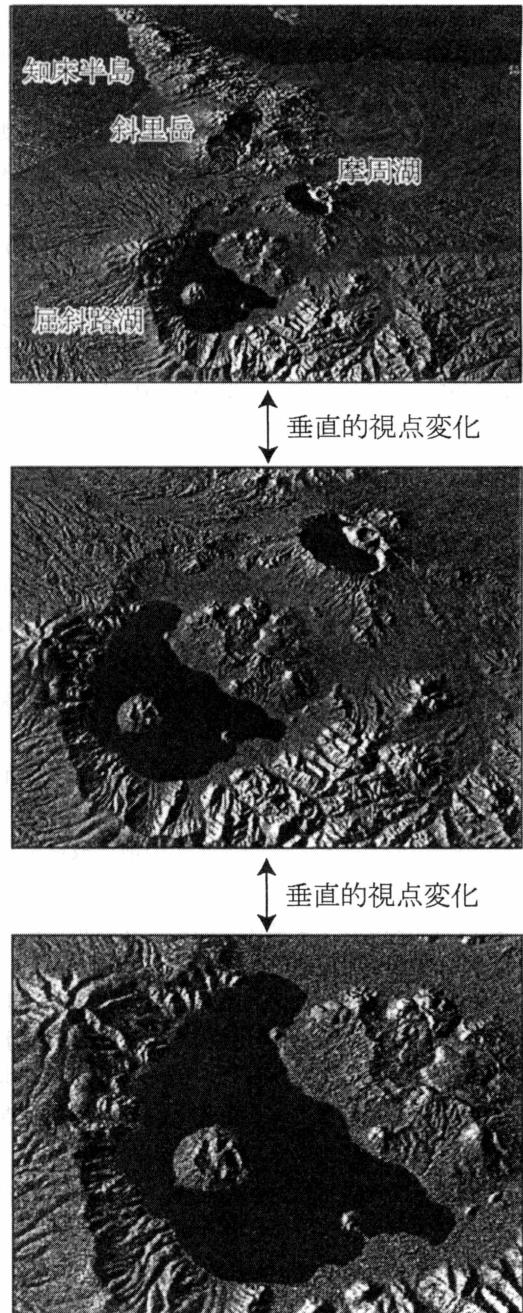


図3 垂直的視点移動の事例

域を拡大することで教員の意思を伝達できる。動画教材では、小地域から視点高度を上げて広範囲の地域画像に移ったり、逆に広範囲の地域から視点高度を下げて小地域の画像に移ったりすることで、異なるスケール間の関係性について解説を行うことができる。それによって、複数の小地域か

ら構成される広い地域全体の特性を把握させたり、広範囲の地域の中での小地域の位置づけを理解させたりすることができる。鑑賞型地理教材の場合、個々の学習者の興味に応じることは困難であるが、上記の様な事を短時間で効率的に行うことには適していると思われる。

3. 水平的視点移動

水平的視点移動は、観察者が同じ高度で、観察位置と目標地域を変えて視点を移動させることを指す。なお、その際、観察者から目標地域への角度は一定であるものとする。観察者が水平的に移動すれば、これまで見えていた地域画像は見えなくなり、移動した方向の地域画像が現れる。

目標地域に関する景観の解釈を例にすると、川に沿って視点を移動させ、地形や土地利用を詳細に観察した後、それら地域の間の景観的特徴を比較することができる。図4は北海道旭川市の石狩



図4 水平的視点移動の事例

川流域の鳥瞰図に地形図の情報を重ねたものである。最初の画像は、旭川市の市街地を流れる石狩川が山地部に入る様子であり、視点を下流に移すと、市街地東部の山地の中を蛇行しながら流れる石狩川の様子が描かれる。この石狩川流域の景観の変化から、穿入蛇行についての説明を行うことができる。この様に、水平的な視点移動による学習効果としては、多くの同スケールの地域に空間的連続性を持って接することで地域比較を行うことができ、それらを統合することで広範囲に関する新たな知識を作り出すことが期待できる。

3次元教材を学習者が自分で操作して水平移動を行う場合、シフト機能を用いて、広い地図上で視点を移動させることになる。この時、移動ルートの設定や、視点移動時にどの様な地物に注目するのかが問題となる。この操作時に学習者は、見つけた地物や気づいた地域的特徴を記録していく、それを広範囲の地図の上でまとめることによって、小地域間の情報を比較したり、それらの空間的関連性について考察したりできる。この作業は、空間認識におけるルート的視点とサーベイ的視点の切り替えのトレーニングとなり、これを繰り返すことによって学習者はより高い空間認識能力を持つ様になると思われる。

この視点移動を鑑賞型地理教材として学習者に見せる場合、移動ルートや移動速度の設定などで教員の意思を反映できる。アニメーションは同じ速度で視点を移動させることができるために、移動速度の違いによる距離認識の個人差を少なくすることができる。また、注目させたい地点では、画像を静止させることにより、同じ景観を学習者全員で見ることができるため、統一されたイメージによって解説を行うことができる。この様に、この鑑賞型教材は、垂直的視点移動と同じく解説を短時間で効率的に行うことに適していると思われる。

4. 角度変更

角度変更は、固定された目標地域に対する観察者の位置を変化させること、すなわち観察者が目標地域を見る方向を変化させることを指す。角度変更には、垂直的にアングルを変える場合、水平的にアングルを変える場合、これらのアングル変

化を複合する場合の3種類がある。

垂直的なアングル変化は、目標地点を固定したまま、観察者の高度を上昇させたり、加工させたりすることで得られる視覚効果である(図5)。高度を上昇させた場合には観察者と目標地域を結ぶ線が地面に対して垂直に近くなり、逆に高度を下降させた場合には観察者と目標地域を結ぶ線が地面に対して平行に近くなる。そのため、この操作は観察者が立体感を認識するのに役立つ。

また、水平的なアングル変化は、目標地点を固定したまま、観察者の位置を水平的に移動させることで得られる視覚効果であり、一方向からでは見ることができない対象地域の側面を観察することができる(図6)。そのため、水平的アングル変化と垂直的アングル変化を併せることにより、3次元情報を把握し目標地域の立体感を認識できる。

目標地域に対するアングルの垂直的変更は、地

形などの理解に重要となる。例えば、北海道の昭和新山の様に粘性の高い溶岩が固まってできた山と、山形県の月山の様に粘性の低い溶岩が固まってできた山とでは、山体の形が大きく違う。この違いは地形図などで理解できるが、等高線の表記に慣れていない者にとって、立体をイメージすることは難しい。また、空中写真を実体視することにより山体を立体的に見る場合も、技術習得に時間がかかる。これらの方法と比較して、3次元教材でのアングル変更による地形表現は、地形のイメージを与えやすく、短時間で山体の違いを視覚的に理解させることができるため、高い学習効果が期待できる。

操作型地理教材で角度変更を行う場合、目標地域が固定されていれば、視点を上昇させるか、下降させるかの選択をすれば、任意の地形を真上から観察したり、地表近くから観察したりすることができる。あるいは視点を右に移動させるか左に

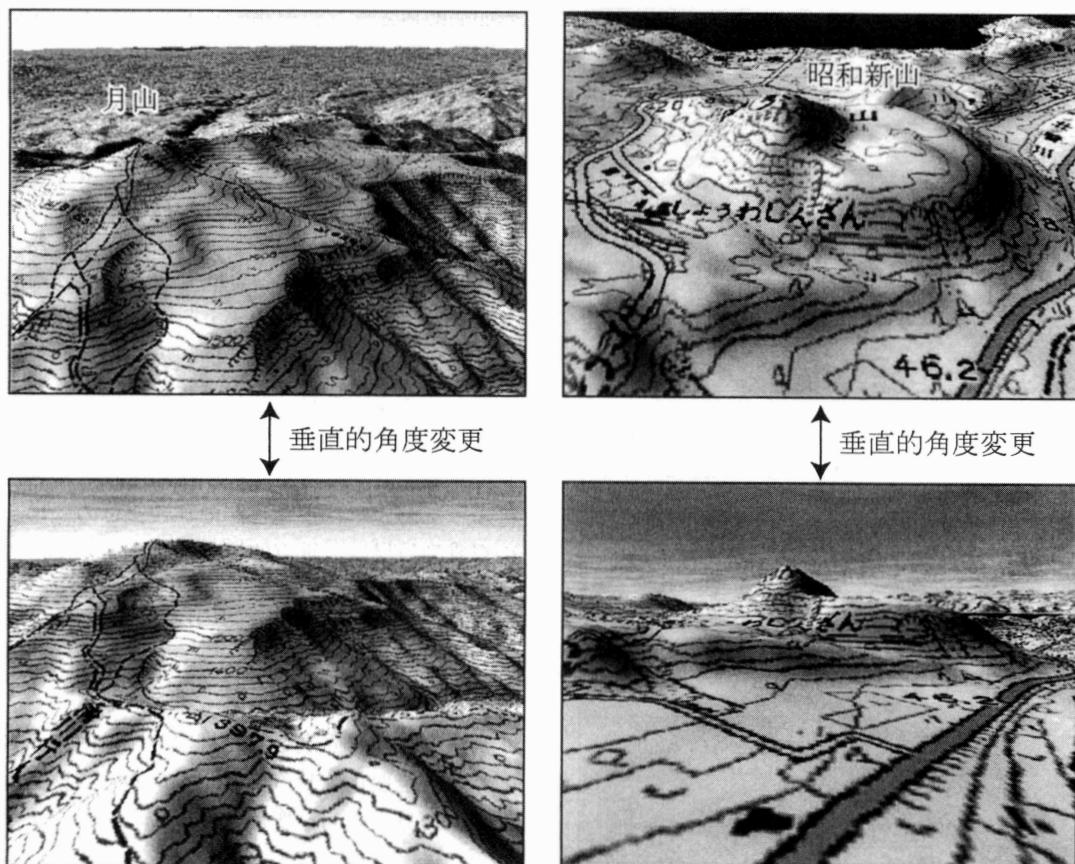


図5 垂直的角度変更の事例

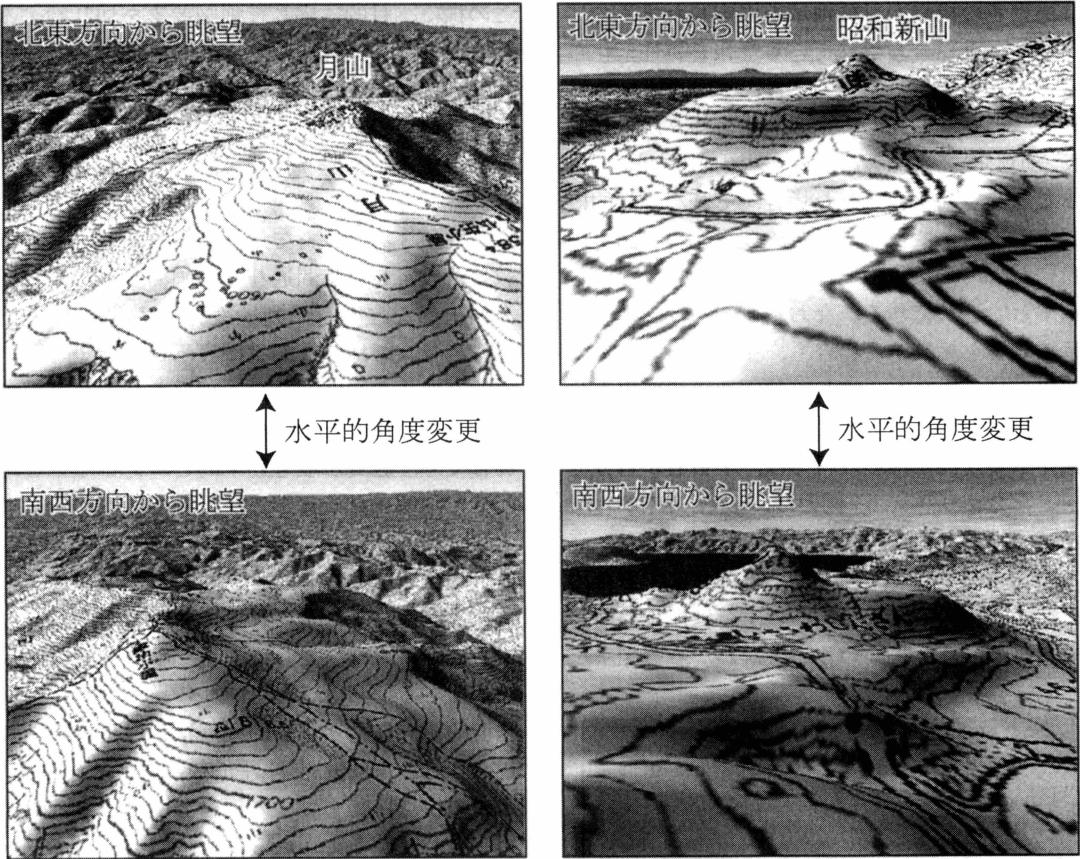


図6 水平的角度変更の事例

移動させるかの選択をすれば、任意の地形を右側から観察したり、左側から観察したりすることができる。これらの操作により学習者は、昭和新山よりも月山の方が緩傾斜であることを3次元画像によって視覚的に理解することができる。

鑑賞型教材として角度変更を学習者に見せる場合、学習者個々の興味に応じたアングルからの観察機会を失わせる事がある。例えば、ある学習者は真上から山を見て火口の位置を観察しようとし、別の学習者は山を真横から見て頂上から麓までの傾斜を観察しようとする場合がある。この時、鑑賞型の教材は、学習者が観察するアングルや時間で一的で決めてしまうことから、個々の学習者の興味に対応することが困難である。しかし、アニメーションによる表現は、注目させたいアングルなどを教員が設定できる。

なお、アニメーションは複数の教材の成果を1つのファイルにまとめることができるため、データ

管理が容易である。もし、学習者に操作型教材で山地の形状比較をさせる場合、対象とする山の数だけ教材を用意する必要があるため、教材を順次コンピュータ上で展開し、操作するのには時間がかかる。また、操作している間に、前に見た地形の記憶が薄れてしまうこともある。それに対して鑑賞型教材は、1つのファイルを起動するだけで作業が済み、すべての山の特徴を一連の動画として短時間で見ることができる。そのため当該教材は、学習者が映像の鑑賞に集中でき、地形の記憶を残しやすいと考えられる。

5. 地図要素の変更

垂直的視点移動、水平的視点移動、角度の変更の3つはいずれも視点を変化させることで動画としての情報を作り出し、3次元データに対する理解を深めるものである。それ以外に動画の情報を作り出すものとして、地図要素の変更がある。こ

これは観察者の視点も目標地域も固定したままで、目標地域に重ね合わされている情報を属性変化させることである。

緯度、経度、標高という3次元データから作成される地形の3次元教材では、火山の噴火や地盤沈下などで標高が変化した場合、それを視覚的に確認することができる。また、3次元の地図上に重ね合わせて、複数の属性情報を切り替えながら表示することができる。なお本研究では、異なる項目の分布を比較する場合も、単一項目の時系列的変化を見る場合も、等しく地図要素の変更として考える。

操作型の3次元地理教材では、学習者が自分で地図要素を切り替える。例えば、現在、海岸から離れた有珠山麓に縄文時代の集落遺跡があるが、海面の高さを操作して、縄文期頃と同じにするため海面を4m上昇させると、この遺跡は海岸に面した段丘面上に位置していることがわかる（図7）。



地図要素の変更 (海面上昇)

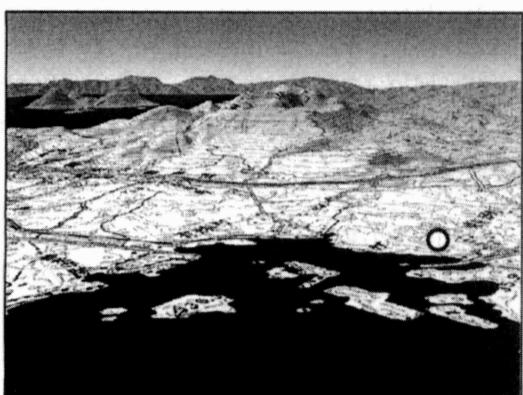


図7 地図要素変更の事例

この様に、目的に応じて地図要素を切り替えることにより、学習者は複数要素間の分布の類似性や、任意の要素の時系列的変化などを検討することができる。この教材では、どの様な要素を用いて何を考察するかという作業計画の立案が課題となる（橋本ほか、2005）。

鑑賞型3次元教材で地図要素を変更する場合、教員が設定した時間通りに描画できる。そのため、海面上昇などの時系列的変化を表現する場合など、各年次の地図を順番に表示させ、短時間で効率的に変化の空間的特徴を理解させることができる。また、複数要素の分布の関連性を検討させる場合でも、教員が最も効果的と考える順番と時間配分で画像を見せることが可能である。

6. 複合的な動作

3次元教材では、これまでに記した動きを複合することにより、さらに複雑な動きを演出することができる（図8）。視点移動のみを取り上げると、垂直的視点移動と水平的視点移動の複合、垂直的視点移動と角度変更、水平的視点移動と角度変更、3つの視点移動すべての複合という4つの動きの組み合わせが考えられる。

垂直的視点移動と水平的視点移動の複合では、目標地域を移動する間に、注目すべき地物が周辺に広く分布する場所で視点を上昇させ、広範囲を表示するという使い方が考えられる。また、垂直的視点移動と角度変更の複合では、視点を下降させるときに角度を地面と平行になる様に変更したり、視点を上昇させるときに角度を地面と垂直に

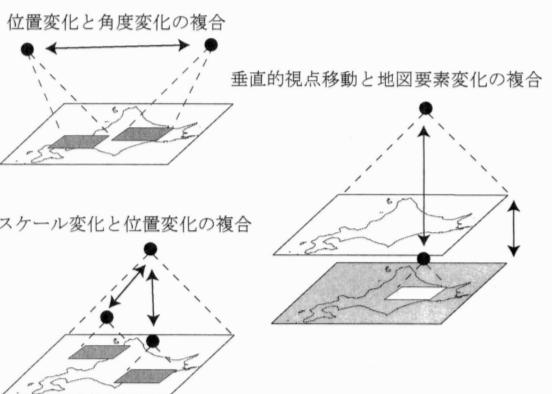


図8 視点移動の複合例

なる様に変更したりすることで、地形など立体的な特徴を強調することができる。水平的視点移動と角度変更の複合では、河川などに沿って視点と目的地域を移動させるときに、河川の流れる方向に角度を連続的に変更することによって、より現実的な感覚を持つ動画を見せることができる。さらに、3つの視点移動すべてを複合させることで、高度と角度を変更しながら目標地域を移動することができ、標高に応じて上昇や下降を繰り返しながら河川の流れを追って周辺地域を観察するという動作が可能となる。

これらの視点の移動に、地図要素の変更を加えると、さらに多様な動作を見せることができる。例えば、垂直的視点移動と地図要素の変更を組み合わせると、広範囲を概観するときは大まかな区分の土地利用を、小地域を見るときには細かな区分の土地利用を表示させて、地図の内容を理解しやすくすることができる。これに他の視点移動を組み合わせれば、上記の効果を付け加えることができる。以上の様に、動作の組み合わせにより異なる教育効果が得られるため、目的に応じて動作の組み合わせを選択する必要がある。

本研究と同様に、複数要素の組み合わせで動画教材を検討したものは Lobben (2003) がある。この研究は、時間、場所、属性を要素として動画教材の分類を行っており、属性のみが変化する場合

を主題的アニメーション、属性と時間が変化する場合を時系列的アニメーション、属性と場所が変化する場合を地域的アニメーション、3要素すべてが変化する場合を経緯的アニメーションとしている。本研究における3次元教材の動作の組み合わせと、Lobben (2003) の分類を対応させると(図9)，後者では視点移動ごとの特徴(立体感の強調、地域間比較、異なる縮尺の対応)は考慮されていないことがわかる。また、本研究では、属性変化も時間変化も等しく地図要素変更と考えているため、1つの動作の組み合わせが、複数の Lobben (2003) の分類に対応している。これらの相違は、本研究がVRの技術要素により分類を行っているのに対し、Lobben (2003) はコンテンツの内容を重視して分類していることによる。

ここで、複合的な動作に関して、操作型教材と鑑賞型教材の利点と欠点を検討すると、単独の動作に関して挙げた特徴を併せたものになると考えられる。垂直的視点移動と水平的視点移動の複合では、両方の視点移動の利点と欠点を併せた形となるため、これらを考慮して利用計画を立てる必要がある。

さらに、これまでに検討した全教材に関していえることであるが、アニメーションは学習者の注意を一方向に固定したまま、教員による各種の説明を行うことができる。教材を自分で操作する場

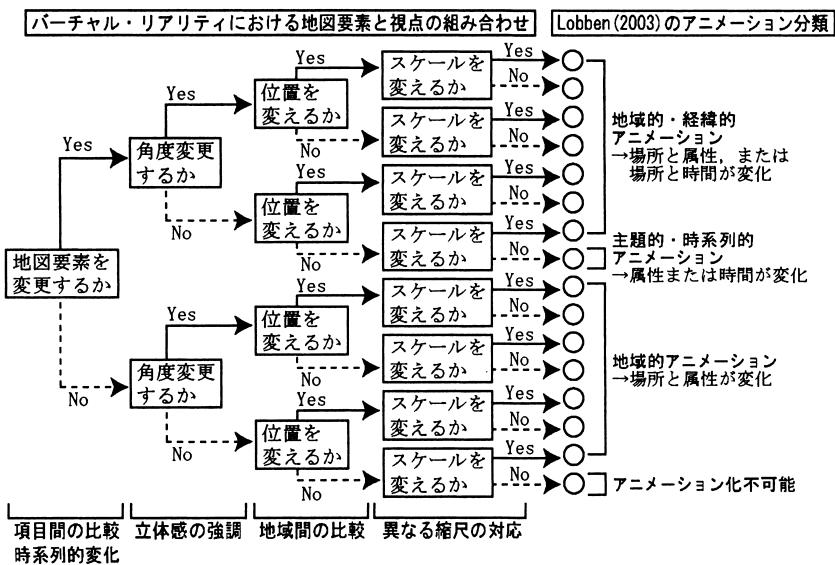


図9 3次元教材における動作の組み合わせ

合、学習者はパソコンに向かって作業をすることになるが、その間に教員が説明を行おうとすると、黒板など別方向に学習者の注意を引く必要が生じる。それに対してアニメーションは、教員が動画の途中に説明の映像を入れておけば、1回の鑑賞の中で各種の知識を得ることができる。そのため、アニメーションの方が効率的な知識の受け渡しができると考えられる。

III. 3次元地理教材の開発

1. 操作型の3次元地理教材

前章で述べた様に、視点移動や地図要素変更などの3次元地理教材の動きによって様々な教育効果が期待できる。そこで本章では、これらの動作を行うための地理教材を作成し、その効果について考察を行う。

まず、操作型3次元地理教材として、図10の様なコンテンツを作成する。最も広い範囲を示すインデックス・マップとしては、海岸線データによって描いた地図を用い、それを拡大するとランドサットのトゥルーカラー画像に国土数値情報（空間データ基盤）の市町村界、鉄道、高速道路などの主要道路の情報を重ね合わせた地図へと移り変わる様にする（橋本ほか、2004）。さらに、それを拡大していくと、ランドサットのトゥルーカラー画像の国土数値情報（空間データ基盤）の道路すべてが加わり、その後の拡大で広範囲を撮影した空中写真へと移り変わる。これを拡大すると、より狭い範囲を撮影した高解像度の空中写真へと移り、その後は標高データなどを加えて地形および地物を3次元ポリゴンで再現した地図へと変わる様にする。これら複数の地図を、連続的なスケール変更によって切り替えるシームレス（無段階）のズーム機能を加えて、垂直的視点移動ができる様にコンテンツの作成を行う。その際、スケールによって地図に掲載される情報を変更し、拡大目標とする地域の判別を容易に行える様にする。また、最も狭い範囲を示す3次元ポリゴンの立体図は、垂直的および水平的なアングルの変更や、ウォータースルー機能による水平的視点移動を可能とする（阿部ほか、2005；橋本ほか、2005）。

最もミクロなスケールの素材である3次元ポリゴンの立体図は、経度、緯度、標高をレーザープ

ロファイリングにより測定したデータにより作成する。このレーザープロファイリングではRGBとして色データも取得できるが、テクスチャとして用いるには画像が荒いため、デジタルカメラで撮影した現場写真を立体図の表面に重ね合わせる。この作業によって、これまでのGISでは作成できなかった玄武岩の柱状節理やオーバーハングした浸食地形なども立体図として表現可能となる。なお、この技術を用いれば、形状が複雑な建物などの地物をGIS上の3次元コンテンツとして表現することができる（橋本ほか、2004）。

本研究で作成した操作型教材と類似したものとして、Google社のGoogle Earth³⁾がある（図11）。このGoogle EarthはWEBをベースとしたソフトウェアであり、基本部分は2005年に利用が開始された。これは地球全体に関して、解像度の異なる複数の衛星画像を重ね合わせてシームレス・ズームを可能としたもので、都市部などの一部地域では建物の形状を確認できる程度まで画像を拡大することができる。小地域に関しては標高データが付加されており、簡単な操作によって地形を立体的に見ることができる。また、垂直的および水平的なアングル変更もできるため、利用者は様々な角度から目標地域を観察することができる。さらに、これには英語表記ではあるが観光情報や地形などに関する教育的情報がリンクされているため、地理教育上の教材として有用である。このGoogle Earthはネットワークに接続されたパソコンがあれば、誰でもダウンロードして使用することができるフリーウェアソフトであるため、家庭や学校での地理学習に手軽に利用できる。ただし、本研究で作成したコンテンツが全データをダウンロードして行う形式であるのに対して、Google Earthはストリーミングとして画像データを供給される形式であるため、ブロードバンドのネット環境が必須となる。

2. 鑑賞型の3次元地理教材

次に、鑑賞を目的とする3次元教材として、各種動画コンテンツを作成する。これらは、徐々に視点を変えながら描画した静止画を連続的に見せることにより、動きを感じさせるものである。そのため、このコンテンツを作成するためには、作

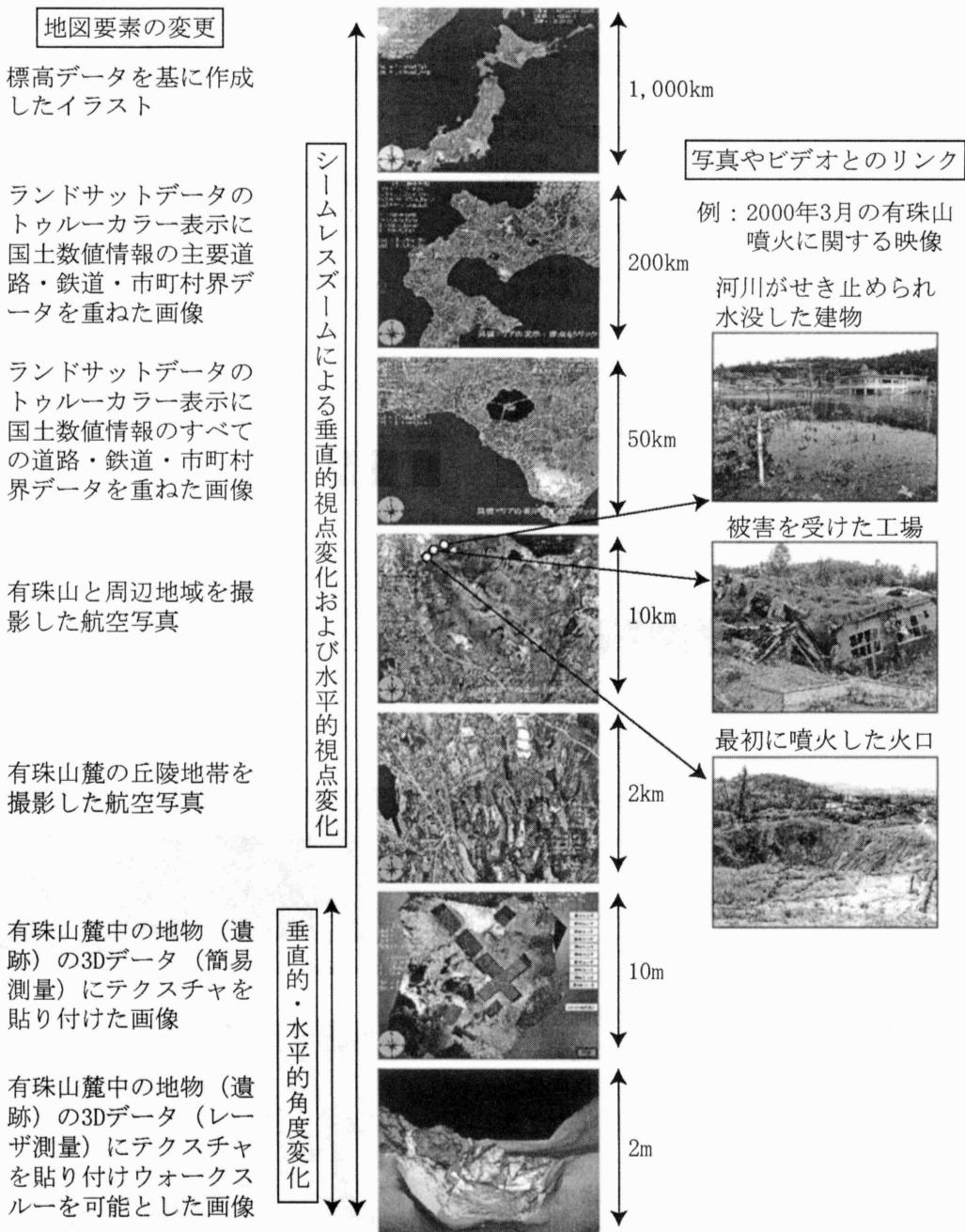


図 10 本研究で作成した操作型 3 次元地理教材

成過程において大量の静止画を作成することとなり、スムーズな動画を作成するためには通常 1 秒間に 30 枚の静止画が必要となる。

本研究では、ESRI 社製 ArcInfo などの GIS ソフトウェアを用いて動画の素材となる静止画を作成するが、視点移動の制御を行うためにマクロを

作成し、EPS 形式の静止画を書き出す。また、景観シミュレータのカシミール 3D⁴⁾など一部ソフトウェアについては、内蔵されている機能を用いて静止画の作成を行う。この静止画を視点移動の順序通りに動画作成ソフトウェアに読み込み、レンダリングを行うことで QuickTime 形式の動画

本研究で作成した教材

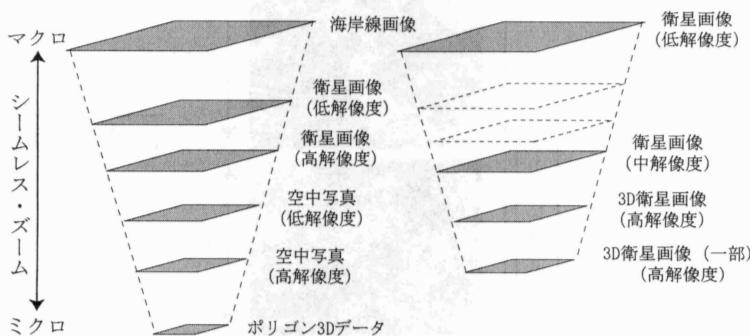


図11 本研究の開発教材と Google Earth の比較

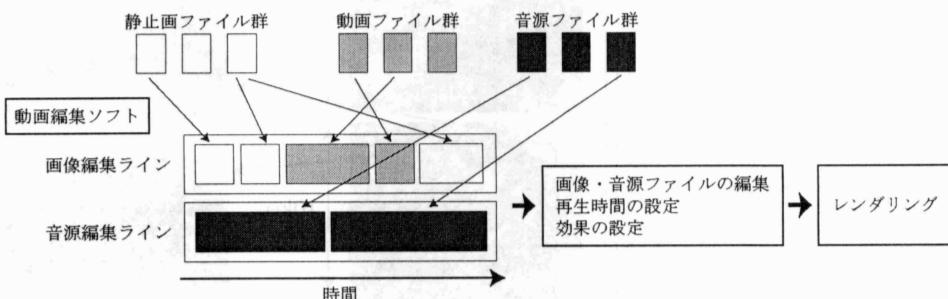


図12 動画編集ソフトによる鑑賞型地理教材の作成

ファイルを作成する(図12)。ここでは、動画作成ソフトウェアとしてAdobe社製Premiereを使用し、QuickTime形式のファイルを元データとして作成した後に、ストリーミング用のMPEG-4形式やH.264形式の動画ファイルへの変換を行う。

3次元教材としては、垂直的視点、水平的視点、角度変更、地図要素の変更に対応した動画を作成する。データとしては国土数値情報の標高データを使用し、作成した3次元図には、地形図画像、国勢調査から作成した主題図、標高に応じたグラデーションなどを地表面に重ねる。

本研究では、知床半島から屈斜路湖にかけての火山群を垂直的視点移動により鳥瞰した動画、石狩川流域を水平的視点移動により鳥瞰した動画、昭和新山や月山を角度変更させて眺望した動画、有珠山付近の噴火湾沿岸で海面を上昇させて海岸線の変化を描いた動画などを作成し、ダウンロードやストリーミングによって鑑賞できるシステムを構築する(橋本, 2003b; 橋本ほか, 2005)。動画ファイルは、NTSC方式に対応する640×480ピクセルのQuickTime形式とした。さらに、この



図13 iPodを用いた鑑賞型地理教材の利用

ファイルを携帯電話やiPod⁵⁾などでも鑑賞できる様に、320×240ピクセルのMPEG-4形式に変換したものも用意する(図13)。この動画ファイルは、授業中の教材だけではなく、修学旅行や野外実習などの外出先で、景観に対する理解を深める

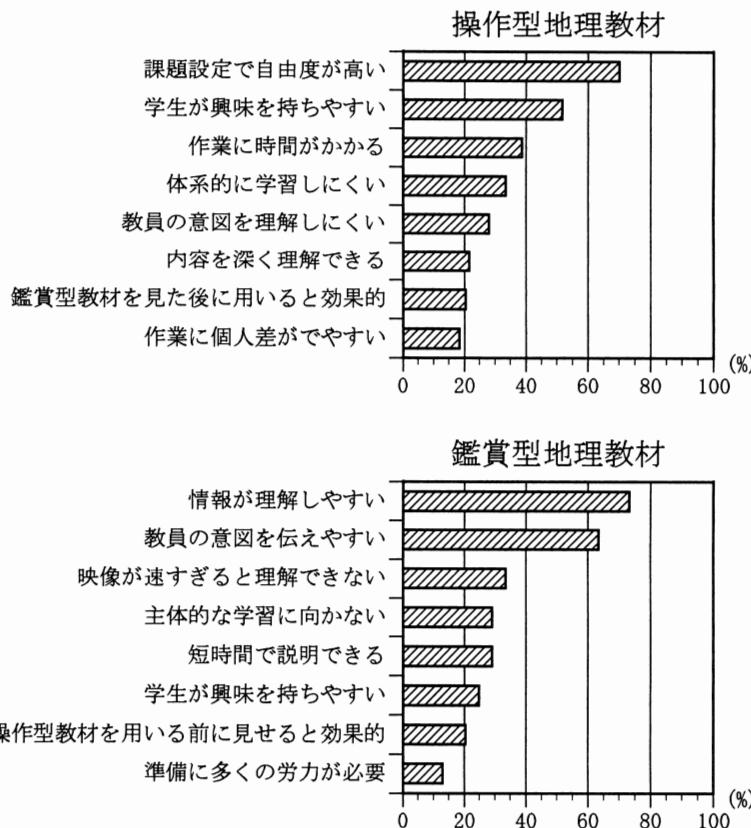


図 14 大学生による操作型と鑑賞型の教材比較

ために活用できると考えられる。

IV. 操作型地理教材と鑑賞型地理教材の教育効果

1. 操作型および鑑賞型地理教材の効果比較

操作型地理教材と鑑賞型地理教材との教育効果の相違を検討するため、大学の授業で両教材の活用に関する調査を行った。調査したのは、北海道大学文学部で開講されている教職科目講義「人文地理学」において、2006年4月19日の講義に出席した93名の学生を対象とした。出席者のほとんどは学部2~4年であり、大学院修士課程の学生が3名含まれていた。

講義では、まず本研究で作成した操作型教材およびGoogle Earthの操作画面をビデオで見せ、知床半島や有珠山などを目標地域とした視点移動の操作を例として作業概要を説明した。その後、同地域を対象として作成したアニメーションによる鑑賞型教材を見せ、その作成方法についてカシミール3Dを例に説明した。これらの説明を、操

作型と鑑賞型とで各20分程度行い、3次元教材の特徴を理解させた後で、両教材の長所や短所、授業での使い分けなど、考えたことすべてを自由形式で記述してもらった。この記述を項目ごとに整理し、集計したのが図14である。

その結果、操作型地理教材の長所に関しては、「課題設定で自由度が高い」が69.9%、「学生が興味を持ちやすい」が51.6%で、半数以上の者が自分の意志で視点を移動させることができると想っていた。また、学生個々が納得いくまで教材を操作できる事を長所として挙げる者も21.5%おり、教員のペースで授業が進む鑑賞型教材とは反対の点で教育効果が評価されていた。短所としては、「作業に時間がかかる」が38.7%、「体系的に学習しにくい」が33.3%と、学生個々が操作することにより生じる欠点を指摘する者が全体の3分の1ほどおり、授業に使用する場合の問題が多くの者に心配されていることもわかった。これは、コンピュータ技術の個人差や、授業に対

する関心の個人差により、系統的な授業進行に支障をきたすことを想定しての意見と思われる。

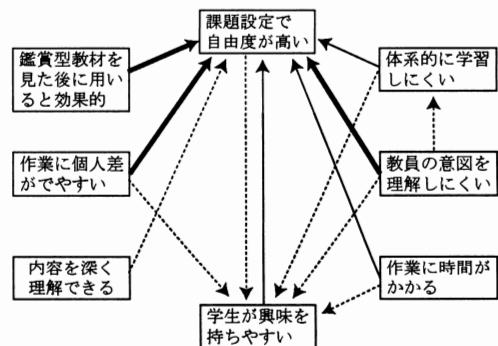
鑑賞型地理教材の長所に関しては、「情報が理解しやすい」が73.1%、「教員の意図を伝えやすい」が63.4%で、3分の2から4分の3程度の者が情報伝達の優位性を指摘した。また、「短時間で説明できる」が29.0%と、説明する時の効率の良さも評価されていた。短所としては、「映像が速すぎると理解できない」が33.3%、「主体的な学習に向かない」が29.0%と、学生ではなく教員のペースで授業が進み、学生の関心や学習速度とのズレが大きくなった場合を3分の1程度の者が心配していた。さらに、教材作成に多くの労力が必要であることや、内容の変更に時間がかかることも短所と考えられていた。なお、鑑賞型教材に関して「学生が興味を持ちやすい」と答えたのは24.7%であり、操作型教材の同様の意見と比較すると少数である。これの結果から、授業が教員のペースで進む場合よりも、学生個々が自分のペースで納得いくまで作業を行える方が、関心を持たせやすいと考えられていることがわかる。

さらに、意見の中には授業の進め方に関するものが5分の1程度含まれていた。そのほとんどは、鑑賞型教材を始めに見せて、その後に操作型教材を用いることが、最も教育効果が高いというものであった。

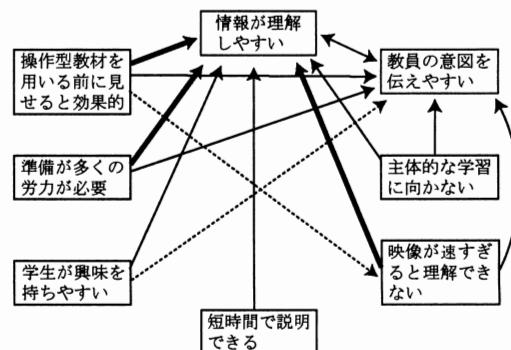
ここで、上記評価の間に見られる関係について考察を行う。図15は、任意の意見を記した学生の半数以上が、他の意見も記したという関係を、項目間の矢印によって表している。この図を見ると、操作型地理教材では、各項目から「課題設定で自由度が高い」と「学生が興味を持ちやすい」の2項目に矢印が集中しており、これらの項目が中核的な教材評価として認識されていることがわかる。これら以外の項目に関しては相互の結びつきが弱いが、それらは共通に、自由度の高さや興味の持ちやすさと関係をもって評価が行われていると考えられる。

次に鑑賞型地理教材では、各項目から「情報が理解しやすい」と「教員の意図を伝えやすい」の2項目に矢印が集中しており、これらの項目が中核的な評価として認識されていることがわかる。これら2項目以外は、項目間の結びつきが弱く、

操作型3次元地理教材



鑑賞型3次元地理教材



Aと答えた者の中でBと答えた者の比率

Ⓐ→Ⓑ 50~65% Ⓐ→Ⓑ 65~80% Ⓐ→Ⓑ 80~100%

図15 大学生による教材評価の対応関係

理解しやすさや意図の伝えやすさと関係して評価が行われている点で共通している。

さらに、図16の教材間の評価関係によって、任意の学生が、ある教材の長所や短所を判断する上で、他教材のどの評価項目と関連させて判断を行ったのかを明らかにする。操作型教材の各評価項目から鑑賞型教材への項目への対応を見ると、ほぼ全ての項目が「情報が理解しやすい」と「教員の意図を伝えやすい」に矢印が集中しており、他の項目との間に強い対応は見られない。また、鑑賞型教材の各評価項目から操作型教材への項目への対応を見ると、ほぼ全ての項目から「課題設定で自由度が高い」と「学生が興味を持ちやすい」の2項目に矢印が集中しており、他の項目との間に強い対応は見られない。これは、強い関係が見られた項目を中心に、他教材の項目評価が行われたことを示す。この様な判断の中で、学生達は、

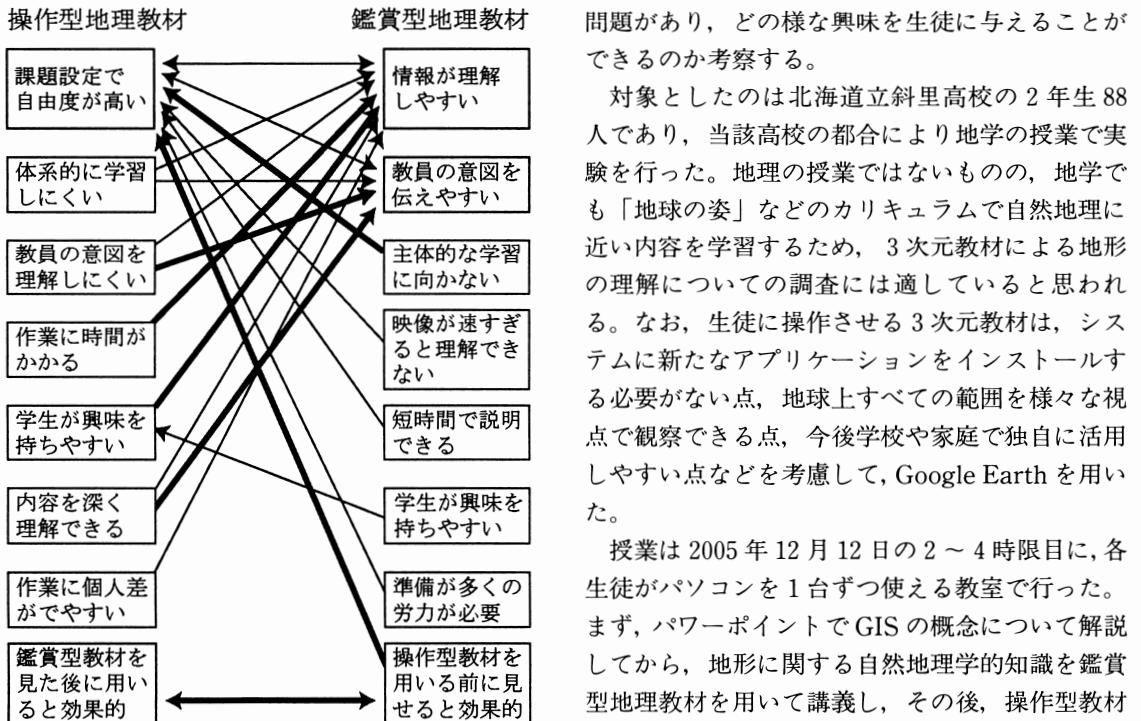


図 16 大学生による教材間の評価の対応関係

「自由度が高く興味を持たせやすい操作型教材」と「理解させやすく意図を伝えやすい鑑賞型教材」という、2教材に対する基本的構図を作り出したと考えられる。

以上の様に、短時間で効率的に知識の伝達を行う鑑賞型教材と、時間はかかるが学生に何かを発見させ興味を育てられる操作型教材の組み合わせで、地理に強い関心を持たせ、深く内容を理解させられるという意見が多数を占めていた。今後、これを実際の授業の中で試すことにより、より効果的な教材の作成を使用方法の開発を行えると考えられる。

2. 3次元地理教材による教育の実践

前節で提案のあった方法を実践した授業を、2005年に北海道立斜里高等学校で行っており、その教育効果について調査していたため、本節ではその結果を分析する。これによって、鑑賞型と操作型の3次元地理教材に関して、技術上いかなる

問題があり、どの様な興味を生徒に与えることができるのか考察する。

対象としたのは北海道立斜里高校の2年生88人であり、当該高校の都合により地学の授業で実験を行った。地理の授業ではないものの、地学でも「地球の姿」などのカリキュラムで自然地理に近い内容を学習するため、3次元教材による地形の理解についての調査には適していると思われる。なお、生徒に操作させる3次元教材は、システムに新たなアプリケーションをインストールする必要がない点、地球上すべての範囲を様々な視点で観察できる点、今後学校や家庭で独自に活用しやすい点などを考慮して、Google Earthを用いた。

授業は2005年12月12日の2~4時限目に、各生徒がパソコンを1台ずつ使える教室で行った。まず、パワーポイントでGISの概念について解説してから、地形に関する自然地理学的知識を鑑賞型地理教材を用いて講義し、その後、操作型教材の使用方法について説明した。作業では、まず生徒に斜里岳や知床半島などの身近な地域を対象としてGoogle Earthの操作に慣れてもらい、それからは個々の興味にしたがって様々な地域を観察してもらった。

Google Earthの操作は、ほぼすべての生徒が5分以内にマスターできた。ただし、学校のネット環境がナローバンドであったため、頻繁にシステムエラーが起こり操作に支障をきたすパソコンがあり、その使用者は若干他の者より操作になれるのに時間を要した。自分で操作を行う時間は約20分間であり、その後、印象に残った事例や考えた事すべてを自由形式で記述してもらった。これを項目ごとに分類し、頻度の算出を行ったのが図17である。

操作を終えた段階で、すべての生徒が観察した地域の地形の特徴などを把握することができた。その上で、3次元教材を「面白かった」と答えた者は、全体の89.8%と多数を占めていた。ただし、操作を「簡単だった」と答えた者は17.0%、「難しかった」と答えた者は15.9%であった。操作を簡単に思えた者には、パソコンの扱いやネットの利用に慣れている者が多いと思われる。それに対し難しく思えた者は、授業後のインタビューなど

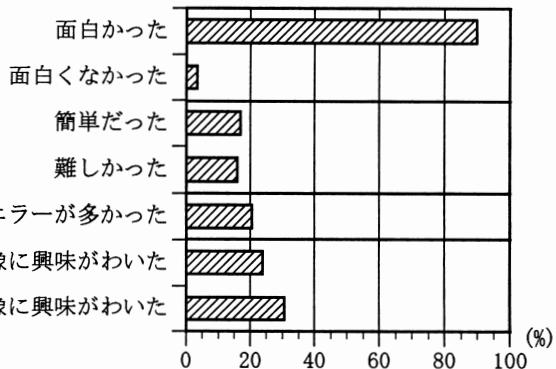
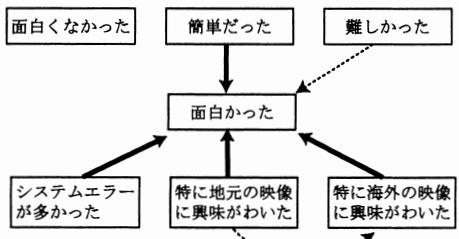


図 17 高校授業での3次元地理教材の評価



Aと答えた者の中でもBと答えた者の比率
A→B 50~65% A→B 65~80% A→B 80~100%

図 18 高校生による教材評価の対応関係

から、システムエラーが連続して起こり十分な操作時間がとれなかったこと、教材の表記に英語が含まれていたため操作画面を良く理解できなかつたこと、ルート的視点とサーベイ的視点の切り替えに不慣れだったことなどが原因となったと考えられる。

また、生徒の中で「特に地元の映像に興味がわいた」と答えた者と、「特に海外の映像に興味がわいた」と答えた者が、それぞれ23.9%と30.7%を占めた。このことから当該教材は、地理情報に関して多様な興味を生徒から引き出し、それに対応する映像を提供できるものであったことがわかる。

ここで前節と同様に、上記評価の間に見られる関係について考察を行う。図18を見ると、各評価から「面白かった」という項目に矢印が集中しており、これが全評価の中での中核的評価となっていることがわかる。これ以外の項目を見ると相互の結びつきが弱く、それらは共通に、「面白かった」という評価と関係をもって評価されている。なお、

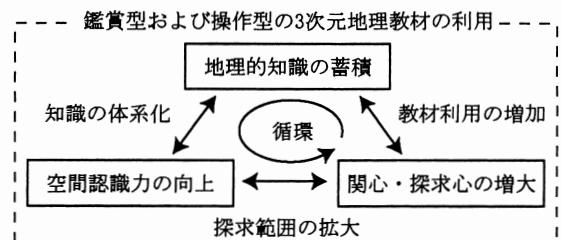


図 19 3次元地理教材の教育効果

「難しかった」と答えた者も、半数以上が面白かったと感じていることから、操作の難度によらず、当該教材は生徒に興味を与えるものと考えられる。また、「特に地元の映像に興味がわいた」と答えた者の半数以上が、「特に海外の映像に興味がわいた」と答えていることから、鑑賞型および操作型地理教材が、興味の空間的範囲を拡大させたことも本分析からわかる。

以上の様に、操作型地理教材と鑑賞型地理教材を併用することにより、生徒の地理的知識への関心を持たせると同時に、理解を深めさせることができた。特に分析結果や授業中の様子から、まず、鑑賞型教材で地理的知識が蓄積され始め、次に、操作型教材の使用で、その知識への理解が深まり体系化されると思われた。さらに、この体系化によって学習者の空間認識力が向上し、新たな地理的知識に対する関心や探求意欲が高まると、また蓄積が行われるという循環が、授業中に築かれつつあると考えられた(図19)。地球の姿を様々なスケールで観察し、議論する契機を与える3次元地理教材は、この様な循環を授業中に作り出すことで高い教育効果が期待できる。

V. おわりに

本研究は VR における動態的シミュレーションの成果の地理教育における活用について考察を行った。特に、本研究では動態的シミュレーションの成果から操作型地理教材と鑑賞型地理教材を作成しての利用方法を比較検討し、それぞれから得られる教育効果を明らかにする事を目的とした。

まず、本研究では、VR による 3 次元地理教材の動作の特徴を検討した。それにより、垂直的視点移動は異なるスケール間の関係性を、水平的視点移動は空間的連続性を把握し地域比較を行うことができる操作であると思われた。また、角度変更是、水平的アングル変化と垂直的アングル変化により立体感を強調する操作であり、地図要素変更是属性の時系列的变化や複数属性間の分布比較を表現できるものであった。これら 3 種類の視点移動と地図要素変化的組み合わせで複雑な効果の演出でき、教育目的に応じた利用が可能と考えられた。

次に、3 次元教材の例として、VR を利用した操作型の 3 次元地理教材と、その画像から作成したアニメーションなどの鑑賞型の 3 次元地理教材を開発した。これらの 3 次元教材は、垂直的視点移動、水平的視点移動、角度変更、地図要素変更を行える様にした。

この操作型地理教材と鑑賞型地理教材の説明を大学生に行い、その意見から教育効果の相違を検討した。その結果、作業者に何かを発見させ興味を育てたい場合には操作型教材が適しており、短時間で効率的に知識を伝達する場合には鑑賞型教材を用いる方が良いという意見が多数を占めた。

また、各教材の長所を生かす方法として、鑑賞型教材を最初に見せて、その後に操作型教材を学生に作業をさせるという組み合わせが多数の者から提案された。この方法により高校で授業を行ったところ、両教材により学習者は、地理的知識を蓄積し、それを体系化することで空間認識力を高め、それによって関心を増大させると思われた。また、この関心が、さらなる地理的知識の蓄積に結びつくという循環を作ることができることで高い教育効果があると考えられた。

本研究で行ったのは、VR の動作から教育効果

を検討することであったが、今後は Lobben (2003) の様にコンテンツの内容による効果を詳細に見ることも必要と考えられる。これらの立場を統合し、画面動作と内容との組み合わせを検討することにより、細かな教育目的に対応した適正な効果を取得できるものと思われる。

また、本研究で作成した操作型教材と鑑賞型教材の組み合わせは、教育用パッケージとして e-Learning の素材になりうると考えられる(橋本, 2003b; 橋本ほか, 2005)。これらの教材は、携帯電話などの簡易視聴覚機器を利用して教室以外の場所でも繰り返し見ることができ、野外研修や修学旅行などでの教育利用が可能と思われる。また、これらは中学や高校などでの教育内容を大学で再履修するリメディアル教育などにも教育素材としても有用と考えられることから、今後は広範囲の利用を検討したい。

注

- 1) GIS を用いた地理教育にアニメーション教材を用いる利点に関しては橋本 (2003b) で述べられている。この研究では、(1) 3 次元データを複数の地図に分けることなく見せることができること、(2) 時空間の連続性を理解させやすいこと、(3) プレゼンテーションにおいて教員の意図する視点を設定しやすいことの 3 点を、アニメーション教材の利点として挙げている。
- 2) Lobben (2003) のアニメーション教材に関する考察結果については、橋本 (2005) で検討されている。
- 3) 米国 Google 社の「Google Earth」は下記のサイトからフリーでダウンロードできる。<http://earth.google.com/>
- 4) 景観シミュレータソフト「カシミール 3D」は下記のサイトからフリーでダウンロードできる。本研究の図 3 ~ 図 7 の画像は、このソフトで作成した。なお、その際には、国土数値情報 50 m メッシュ標高データと、5 万分の 1 地形図画像データを使用している。<http://www.kashmir3d.com/index.html>
- 5) iPod および iTunes は米国アップル社の登録商標である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、特別授業で調査にご協力いただきました北海道斜里高校の先生および生徒の皆様、教材に関するアンケートなどでご協力いただきました北海道大学大学院文学研究科および文学部の学生諸氏に御礼申し上げ

ます。なお、本研究は平成17年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(1)「学校教育・社会教育における地理情報システムの利用に関する研究」,課題番号16300295,研究代表者:伊藤悟)を使用した。

参考文献

- 浅村亮彦(1996):自動における認知地図の変容について—空間の地図的認識と系列的認識の発達ー,教育心理学研究,44,204-213.
- 阿部哲史,小杉康,橋本雄一,相馬絵美(2005):3D-Indexシステムによる考古学情報の利用,地理情報システム学会講演論文集,14,415-418.
- 岡本耕平(1995):大都市における空間認知,石水照雄編『都市空間システム』古今書院,118-129.
- 谷直樹(1980):ルートマップ型からサーベイマップ型へのイメージマップの変容について,教育心理学研究,28,192-200.
- 橋本雄一(2000):商業地理学における地理情報システムの利用,北海道大学文学部紀要,102,203-227.
- 橋本雄一(2003a):高校地理教科書におけるエネルギー教育の問題,北海道大学文学研究科紀要,110,159-217.
- 橋本雄一(2003b):GISとアニメーションによる地理教材の開発~社会資本の教育事例~,地理情報システム学会講演論文集,12,201-205.
- 橋本雄一(2005):アニメーションとGISによる地理教材の開発と提供~社会資本教育の事例ー,伊藤悟編『わが国の初等・中等教育における地理情報システムの活用に関する研究』平成13~16年度日本学術振興会科学研究費補助金研究成果報告書,127-138.
- 橋本雄一,小杉康,阿部哲史,相馬絵美(2005):GISを援用した地域学習のための教育パッケージ開発ー学校と博物館の連携による火山地域学習の試みー,地理情報システム学会講演論文集,14,409-414.
- 橋本雄一,小杉康,阿部哲史,相馬絵美,矢橋潤一郎,小松富成,塚田剛史(2004):デジタルアース利用による遺跡の3Dアーカイブ化,地理情報システム学会講演論文集,13,297-302.
- 若林芳樹(1999):認知地図の空間分析,地人書房.
- Ellis, S. R. (1991): Prologue. Ellis, S. R., Kaiser, M. K. and Grunwald, A. J. eds.: *Pictorial communication in virtual and real environments*. Taylor & Francis.
- Hashimoto, Y. and Iwasaki, K. (1998): Application of GIS for three dimensional analysis of intra urban structure, *Proceedings of International Workshop on Urban Multi-Media/3D Mapping*, 151-156.
- Hashimoto, Y. and Nakamura, Y. (1994): Applications of ARC/INFO in geographical analyses, *Proceedings of the International Symposium on Geographic Information Systems: 'Geographic Information systems: Present and Future'*, United Nations Center for Regional Development, 3, 197-222.
- Kalawsky, R. S. (1993): *The science of virtual reality and virtual environments*, Addison-Wesley.
- Lobben, A. (2003): Classification and application of cartographic animation, *The Professional Geographer*, 55, 318-328.
- McKechnie, G. E. (1977): Simulation techniques in environmental psychology. Stokols, D.: *Perspectives on environment and behavior: theory, research, and applications*, Plenum.
- Piaget, J. and Inhelder, B. (1967): *The child's conception of space*, Norton.
- Siegel, A. W. and White, S. H. (1975): The development of spatial representations of large-scale environments. Rees, H. W. ed.: *Advance in child development and behavior*, 10, Academic Press, 9-55.
- Weisman, G. D., O'Neill, M. J. and Doll, C. A. (1987): Computer graphic simulation of wayfinding in a public environment: a validation study, *Environmental Design Research Association Proceedings*, 18, 74-80.