

ローエンドパーソナルコンピュータのための 地震防災学習ソフトウェアの開発と それによる学習効果の視覚化について

瀧本浩一¹・三浦房紀²

¹工学部知能情報システム工学科

²大学院理工学研究科環境共生工学専攻

本研究では、小・中学校で普及しているローエンドパーソナルコンピュータでも利用できるように、これまで開発してきた地震防災学習ソフトウェア「Quake Busters」のシステムの軽量化を計った。また、教師が学習者の学習状況や知識の変化等の学習効果を視覚的に把握するための方法として、S-P曲線の利用を試み、開発したソフトにその機能を設けた。さらに、このS-P曲線による方法が有効かどうか評価するために、開発したソフトを大学生に使用してもらった。その結果、ソフト使用前後における防災知識の変化を視覚的にとらえることができた。

Key Words : earthquake prevention education, personal computer, computer assisted instruction student-problem curve

1. はじめに

1995年1月に発生した阪神・淡路大震災により日本国内ではかつてないほど地震防災に関して意識の高揚がみられたが、時間の経過と共にそれらは徐々に薄れつつある。このように災害に対する知識や備えを風化させないためにも、地震防災教育のための教材が必要である。筆者らはこれまで地震防災教育を支援する教材の一つとして小・中学校を対象にパーソナルコンピュータを用いた地震防災学習ソフトウェアの開発を行った¹⁾。しかしながら、開発したマルチメディア対応の地震防災学習ソフトウェアでは、そのまま小・中学校で利用し、その効果を評価することが困難であることが、以下に述べる理由からわかった。

まず、小・中学校におけるパーソナルコンピュータの機種についてみると、その多くは16ビットCPUがベースのWindows3.1をGUI（グラフィックユーザインタフェース）に持つものが多い²⁾。さらに、これらの機種はCPUの低いパフォーマンスに加え、主記憶容量および補助記憶の不足から、大容量のソフトウェアが利用できないという問題点も抱え

ている。

次に、従来はそれによる学習効果を調べるために、ソフト使用前後に学習者に対して学習内容に関するアンケート形式の問題を配布して回答してもらい、回収するという方法をとっていた³⁾。しかしながら、この方法では配布や回収等の作業に多くの手間と時間を要することから、多くの小・中学校に対してくり返し長期に渡って調査を行うことは困難であった。

そこで、本研究は、上述の問題点を解消するために、これまでの地震防災学習ソフトウェアをベースに以下の改良を行った。

- CPUが遅く、記憶容量も少ないローエンドパーソナルコンピュータでも利用できるようにソフトの軽量化を計った。
- 学習者のデータを自動的に記憶装置に保存し、回収できる機能を設けた。
- ソフトによる学習効果を視覚的に捉えるために、学習者のデータを用い、S-P曲線（Student-Problem curve, 4. (2)で説明）を利用して表示する機能を設けた。

なお、学習効果を把握する機能に関しては、小・

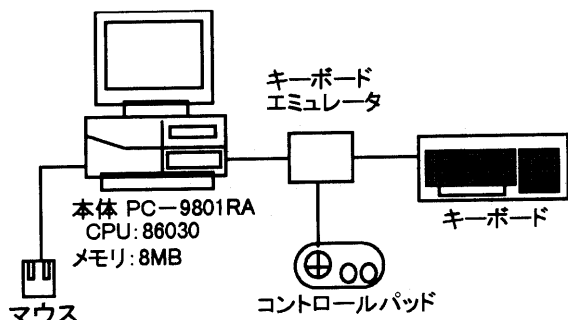


図1 開発に用いたシステム構成

表-1 開発に用いたソフトウェア

名称	内容
MS-DOS Ver.5.0 (Microsoft 社製)	オペレーティングシステム
TURBO C++ (BORLAND社製)	C言語コンパイラ
GR.LIB (フリーソフトウェア)	グラフィックスライブラリ
Photoshop3.0J (Adobe 社製)	画像加工ソフトウェア
PIローダ	PI形式の画像ファイルを表示するフリーソフトウェア

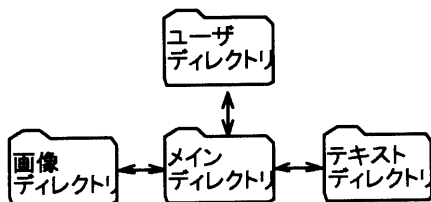


図2 ファイルシステムの構成

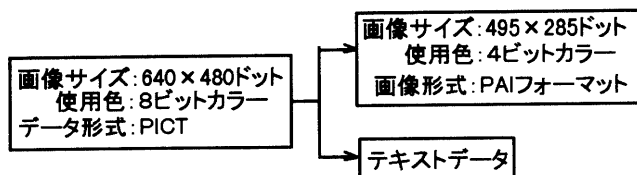


図3 学習画面の変更

中学校の現場で評価を行うことが望ましいが、それ以前にこの機能が実際に活用できるか、あらかじめ実験を行う必要がある。そこで、ソフトの試験的な実験として大学生に使用してもらい、評価を行った。

本稿では、まず先に掲げた問題点を改善するために用いた方法を述べ、次いでS-P曲線の概要について解説し、最後に大学生に対して行ったソフトの試行結果と考察について述べる。

2. 地震防災学習ソフトウェア「Quake Busters COMPACT」開発の概要

(1) 開発環境

ソフト開発に用いたシステムの構成とアプリケーションソフトウェアを図1と表1にまとめてそれぞれ示す。本ソフトの開発にあたっては、ハードウェアとしてNEC社製のパーソナルコンピュータPC-9801RAを用いた。このPC-9801RAは現在、国内で普及し、稼働しているパーソナルコンピュータの中でも低いパフォーマンスを持つ機種であり、これを用いて開発することで、開発したソフトの動作性や不具合を確認することができる。また、開発するために用いたアプリケーションソフトとしては、TURBO C++を用いた。これは、C言語のコンパイラの中でも比較的高速な実行ファイルを作成することができ、アセンブリ言語のプログラムとの結合といった点で拡張性に富んでいる。

(2) ソフトの容量の低減

前章で述べたソフト容量の軽減を行うために、これまで開発した地震防災学習ソフトをベースに以下に述べる3つの点に着目して「Quake Busters COMPACT」の開発を行った。

a) システムの再構成

ソフトウェアのシステムに対する負荷を減らすためにはシステムの構成を改める必要がある。これまでの地震防災学習ソフトでは1つのファイルに画像のリソースデータとプログラムが混在していたため、ソフトの起動時や学習中にパソコンへかなりの負担をかけていた。そこで、図2に示すように画像データやテキストデータ、プログラムをそれぞれ別々に保存して管理することにした。即ち、画像ディレクトリには学習やクイズ出題時に用いる画像ファイルが格納してあり、テキストディレクトリにはソフト上で表示する全てのテキストデータが保存される。また、メインディレクトリには画像を表示したり、後に述べる学習者の学習効果の計算と表示を行うプログラムが保管され、学習者に関するデータはユーザーディレクトリに保存される。なお、メインディレクトリ中の画像表示プログラムはシステムへの負担が最も少ないPIローダを参考に開発を行った。

b) 画像データ容量の削減

これまで開発を行ったQuake Bustersが大容量であった原因として、学習に用いる画像ファイル容量の大きさがあげられる。これは、学習画面一枚にグラフィックスとテキストが混在し、640ドット×480ドットの画面解像度に対し8ビットカラー（256

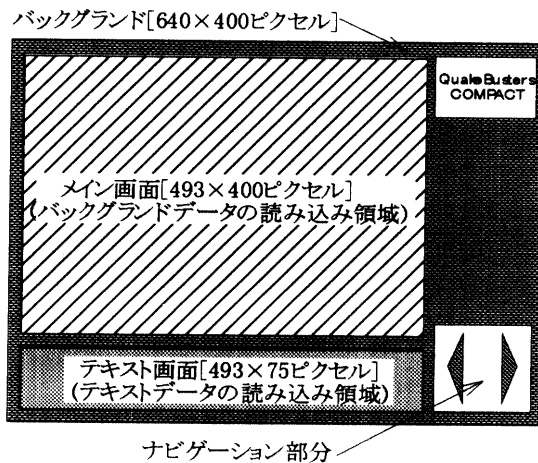


図4 学習画面の構成

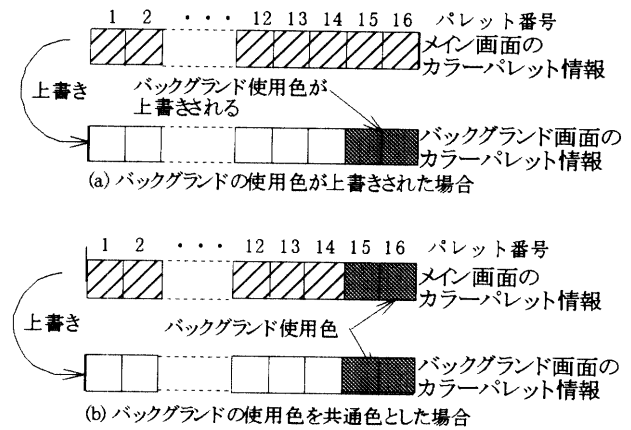


図5 パレット情報の上書き問題

表2 地震防災学習ソフトの動作環境の比較

	従来のソフト	本研究で開発したソフト
CPUクロック数	IntelPentium 100MHz相当	Intel 8086互換 10MHz相当
主記憶	16MB	4MB
ハードディスク	50MB	8MB
必要発色数	256色	16色
オペレーティングシステム	MS-Windows 相当が必要	MS-DOS Ver.3.0以上
サウンドカード	必要	使用しない

色)で描画を行っていたことに起因する。そこで、3に示すようにこれまでの学習画面から解説に用いるグラフィックスと解説文を分け、それぞれ容量の少ないPI形式のグラフィックファイルとテキストファイルとした。ここで、前者のグラフィックスに関しては、画像サイズを495×285ドットへ解像度を低くし、4ビットカラー(16色)に減色した。なお、減色の際にはディザ描画を行い、画像の変色を防いだ。

c) 学習画面の構成と表示方法

本研究で開発したQuake Busters COMPACTの学習画面の構成を図4に示す。学習画面は大きく分けてバックグラウンド、メイン画面、テキスト画面、ナビゲーション部分からなる。ナビゲーション部分は学習を進める際に用いるもので、具体的には右のボタンをマウスでクリックするごとに次の学習画面が順々に表示され、左のボタンをマウスクリックすると前の画面に戻ることができるようになっている。

バックグラウンドおよび学習時に解説画面を表示するメイン画面には先に述べたPAIローダを用いて画像を表示する。ここで、バックグラウンドは学習中、一度ディスクから読み込まれると学習が終わるまで

常に表示され、その上からメイン画面とテキスト画面のみが学習項目ごとに読み込まれ、その部分のみ上書きして表示を行う。これにより、ディスクアクセスの時間と回数が減り、スムーズな学習が行える。しかしながら、このようにバックグラウンドを画面上に常駐、表示させた状態でその上からメイン画面で上書きすると、図5(a)のようにバックグラウンドの持つカラーパレット情報がメイン画面のそれにより、上書きされてしまう。カラーパレット情報とは画像ファイルがどのような色で描画されているかを管理するもので、ファイルごとにその情報は異なる。このため、メイン画面が読み込まれる度にバックグラウンドの表示色が変わるといった問題点が生じる。そこで、図5(b)のようにバックグラウンドとメイン画面のそれぞれのカラーパレット情報の15番と16番の2色をバックグラウンドに使用する共通色として割り当てた。こうすることで、メイン画面が入れ替わっても、バックグラウンドの色は保持される。

以上のa)~c)の方法により動作環境および動作必要容量に関して表2に示す通り従来のソフトに比べ、CPUの速さで約200分の1、主記憶で4分の1、ハードディスク容量で約6分の1のマシンでも動作することが確認できた。これにより、マルチメディア的な要素を保持しつつ16ビットパソコンでも地震防災学習ソフトウェアが利用できるようになった。

(3) ソフトウェアの流れ

本研究で開発したQuake Busters COMPACTのプログラムの流れについて図6に示すフローチャートに沿って説明する。

まず、ソフトを起動後に学習者氏名および性別を登録する。この時登録されたデータはディスクに保存され、2度目以降の利用からはその登録者一覧を表示し、自分の名前を選択して学習を開始する。ま

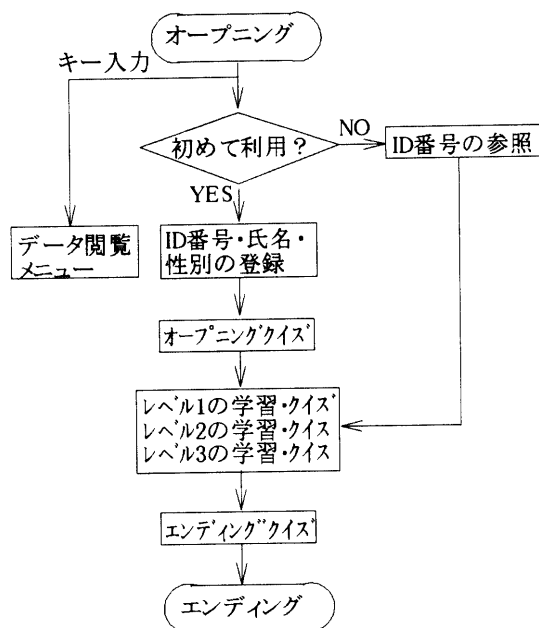


図6 プログラムの流れ

た、このソフトは、8カ所にセーブできる場所を設けているので、学習を中途終了した際には続きから学習ができる。

名前の登録の後にはオープニングクイズとして図7に示すような知っておくべき地震防災の知識に関する択一形式の問題を学習者に解いてもらう。このクイズは全ての学習が終了したときに出题されるエンディングクイズと同じ問題になっており、ソフト使用前後における学習者の知識の変化を比較するためのものである。

次に、学習レベル1の学習が始まり、学習後には学習した内容に関する図7と同じ形式のクイズが行われる。このクイズで15問中10問正解すれば、次の学習レベルへ進むことができ、正解が10問に満たない場合には、同じ学習レベルの再学習が命じられる。このように学習とクイズをくり返し、学習レベル1から3までの学習を行う。全学習終了後には先に述べたエンディングクイズを行って終了する。なお、クイズ問題に関しては以下の方針で作成、出题した。

- ・クイズ問題は、後述の学習カリキュラムに沿った問題とし、地震等の「メカニズム」や「地震時の対応」、「地震災害」、地震関連用語等に関する「周辺知識」と名付けた4分野から出题した。
- ・クイズの問題によっては、解答が複数になる場合があるが、ここでは正解のうち最も基本的な解答を正解とした。例えば図7に示した問題では、3番選択肢（白黒反転文字）が正解となる。
- ・クイズ問題は3択とし、そのうち1つを正解とした。

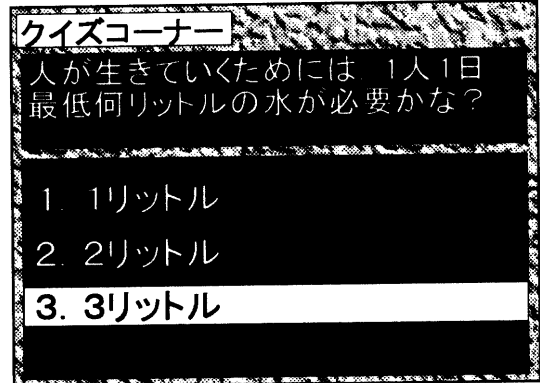


図7 クイズ問題の画面の一例

- ・出题する問題の選択肢については再学習の際に学習者とその順番を覚えて解答することが予想されるので、毎回ランダムに選択肢の順を変えて表示するようにした。

なお、ここでは次の学習レベルへステップアップする際に15問中10問以上正解しなければならないというボーダーラインを設定しているが、この点については今後、小・中学校で実際に使用しながら決定する予定である。

(4) カリキュラムの概要

カリキュラムの内容としては、従来の地震防災学習ソフトウェアのカリキュラムを難易度と重要度から学習レベル1から3に分け、再構成を行った。以下にそれぞれの学習レベルの内容について述べる。

a) 学習レベル1

学習レベル1は、まず「稲村の火」という昔話のスライドアニメーションから始まっている。「稲村の火」はかつて国語の教科書に搭載されていたもので、主人公の庄屋さんの災害に対するちょっとした知識と機転で津波から村人の命を救うという話である。地震防災学習の前に「稲村の火」を見せ、防災教育の必要性と大切さを学習者に感じさせて学習を始められるように工夫している。「稲村の火」の後には実際の学習に入り、その内容は地震時の基本的な対応や地震に関する用語の解説を行っており、比較的分かりやすく、日常生活で最低限覚えておく必要がある内容を扱っている。また、地震がなぜ起こるかという素朴な疑問に答えるために地球の構造やプレートテクトニクス、地震の発生メカニズムについてもやさしく解説している。以下に学習レベル1で行う学習内容を示す。

- ・昔話「稲村の火」
防災知識習得の重要性について
- ・地震時の対応
地震発生時、揺れの間身の保護について解説
- ・地震の揺れの後
地震後に考えることや避難についての説明
- ・安全な避難について
避難中や避難後に予想される危険について解説

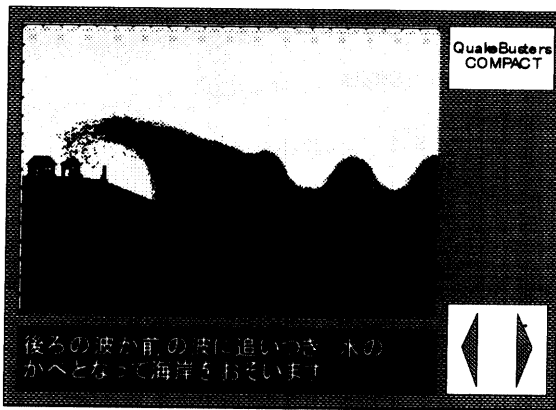


図8 学習画面の一例

- ・避難場所と経路
避難場所や避難経路を考える際の要件
- ・地震のメカニズム
アニメーションを用いて発震機構について解説
- ・地震多発の背景
日本付近のプレート配置について解説

b) 学習レベル2

学習レベル2では過去に起こった代表的な地震を中心に紹介している。地震はなぜ怖いのか、なぜ被害が出るのかについて学習者に認識してもらうことを主な目的としている。また、これら過去の地震より得られた教訓とそれを生かすにはどうすればよいのかについても解説を加えている。以下に、学習レベル2における内容について列挙する。

- ・阪神・淡路大震災
建物や道路、ライフラインの被害の紹介
- ・伊豆半島沖地震
埋め立て地盤の脆さについての説明
- ・南海地震
軟弱地盤の被害についての解説
- ・関東大震災
関東大震災で起きた火災についての解説
- ・火災への対応
消火器の模擬訓練

c) 学習レベル3

学習レベル3では代表的な地震災害である津波や液状化現象などを中心に解説している。また、地震に対して備えておくべきものやことについても説明し、いざという時に対処するためには、前もって準備が必要であることを訴えている。以下に学習レベル3の内容について列挙する。

- ・津波のメカニズム
アニメーションを用いて津波のしくみを解説
- ・津波の怖さ
チリ地震津波を例に津波の速度について解説
日本海中部地震、北海道南西沖地震の災害例
- ・津波から逃れる
海で地震があった時の対応
- ・液状化について
アニメーションによる液状化のメカニズム
液状化の起きやすい場所について解説

・日頃の備え

非常用品のリストや家具類の固定方法等を解説
以上のカリキュラムの中から図8に学習画面の一例を示す。この画面は水深が浅くなると津波の波高が高くなる様子をアニメーションで解説している。

3. 学習者データの評価と視覚化

本研究で開発したソフトでは教師等の学習ソフトの管理者が学習者の学習状況や知識の変化を把握するため、学習者のデータを自動保存し、表示する機能を設けた。

(1) 学習者の理解状況の視覚化

学習者の理解状況はオープニングクイズやエンディングクイズ、各学習レベルでのクイズごとの正答率を用いて表示する。これらの結果の表示にはレーダーグラフ形式を用い、正答率を比較する項目としては先に述べた4つの問題出題分野をそれぞれの軸として表示するようにした。

(2) 学習者全体の傾向とクイズ問題の評価

本研究で開発したソフトを使用することによる学習者全体の学習効果を視覚的に得るために教育工学の分野で使われるS-P曲線の利用を試みた。

a) S-P曲線の概要

S-P曲線とは一般に生徒たちに的確な学習をさせる目的で学校の教師が授業方針を決定する際に用いるものである⁴⁾。具体的には実力テスト、授業の終わりに行われる小テストなどの評価を行うのに適している。

以下にS-P曲線の作成手順を図9に沿って述べる。

- ・各クイズの解答結果を正解1、不正解0として保存する。
- ・図9(a)に示すように表の縦方向にソフトを利用した学習者を、それら学習者の各問題での解答結果(正解:1, 不正解:0)を横方向に記入する。
- ・図9(b)のように高得点した学習者の順に上から並び替える。
- ・図9(c)のように正答率の高い問題の順に左から並び替える。

図9(d)中の破線矢印のように各々の学習者について左から問題の正答数だけ数えて区切り線を入れ、これら区切り線をなめらかに結ぶと得点の累積分布



図9 S-P曲線の作成手順

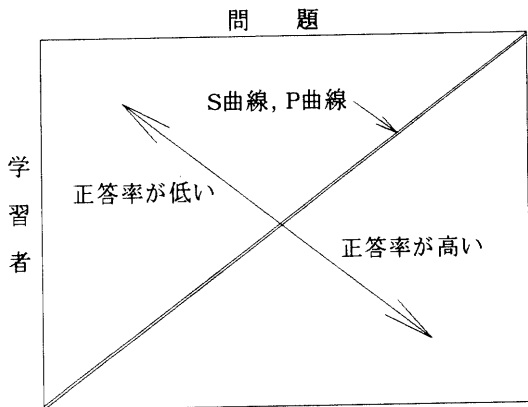


図10 S曲線, P曲線の位置と正答率との関係

曲線となる。これをS曲線と呼ぶ。

- ・ 図9 (d) 中の実線矢印のように各々の問題について上から正答者数だけ数えて区切り線を入れ、これら区切り線をなめらかに結ぶと正答者数の累積分布曲線となる。これをP曲線と呼ぶ。
- ・ 作成したS曲線とP曲線の概形やそれらの位置関係を見て考察する。

上記の手順で得られたS-P曲線の概形を以下の点から考察し、学習者全体のクイズの正答率や学習者あるいは問題が等質か非等質であるかを判断する。

- ・ S-P曲線の位置
- ・ S曲線とP曲線の形
- ・ S曲線とP曲線とのズレ

まず、S-P曲線の位置からは図10に示す通り学習者のクイズ問題の正答率の良し悪しが分かる。即ち、S曲線とP曲線が45度の傾きのときが正答率50%であり、それより左上に両曲線が描かれると学習者全体の正答率は低く、逆に右下に描かれると正答率が高いことを表している。次に、S曲線とP曲線の形および両曲線のズレからは、学習者や問題が等質か非等質かについておおまかに判断できる。

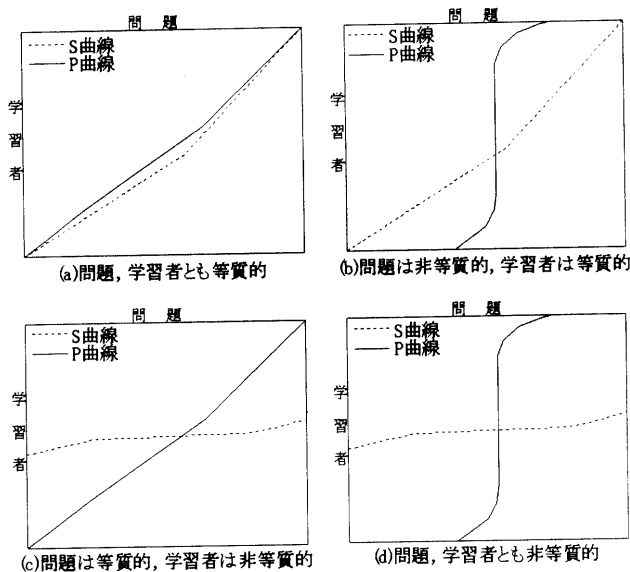


図11 典型的なS-P曲線の例

ここでいう学習者が等質とは、正答率の高い学習者から低い学習者までが一様に分布している状態をいう。逆に非等質とは問題が解ける学習者とそうでない学習者が2つの集団にはっきりと区別される状態をいう。また、問題が等質とは簡単な問題から難しい問題までが一様に出题されている状態をいう。その一方、非等質とは極端にやさしい問題と極端に難解な問題が混在している状態をいう。図11に典型的なS-P曲線の一例を示す。図11(a)のように両曲線とも45度の傾きをなし、ほぼ重なっている場合は、学習者と問題の両方とも等質である。図11(b)ではS曲線の傾きからクイズが解けた学習者からそうでない学習者までが一様に分布していることから、学習者全体としては等質であることがわかる。一方、P曲線はその中央部の傾きが大きいことから非等質、即ち易しすぎる問題と難しすぎる問題が混入していることが分かる。図11(c)からは、S曲線が中央部で傾きが小さくなっており、問題がよく解ける学習者とほとんど解けない学習者の2集団が混在していて、学習者全体としては非等質であることが分かる。また、P曲線は曲線の傾きが小さいことから、同じ難易度の問題が出题されたことがわかり、等質である。図11(d)はS曲線とP曲線のズレが極端に大きいことから、学習者、問題とも非等質である。なお、S曲線はP曲線、即ち出題された問題に対する学習者の感度と捉えることができるので、この場合は、学習方法や学習者の学習能力に見直しが必要とされるケースである。

本研究では上記のS-P曲線を自動的に作成し、それらを閲覧できる機能を設けた。

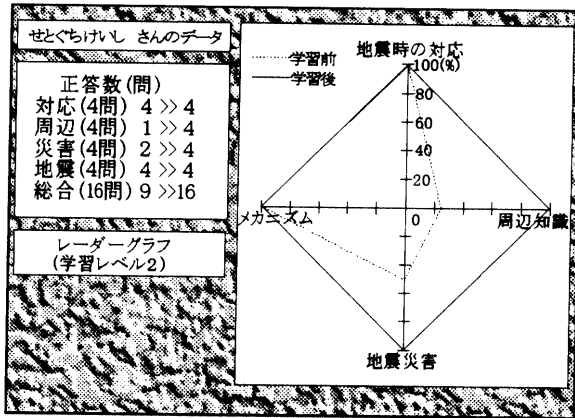


図12 ある学習者のレーダーグラフの一例

4. 開発したソフトの評価

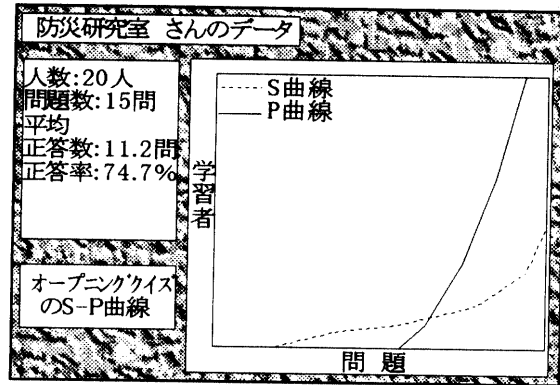
(1) 方法

開発したソフトを使用することにより、先に述べたレーダーグラフとS-P曲線により学習者の知識の変化や学習効果が視覚的に読みとれるか実際にソフトを使用してもらい、評価を行った。被験者は山口大学の地震防災に関する研究している研究室の学生と研究テーマが防災と関連のない研究室の学生それぞれ20人ずつ、計40人とした。これら被験者を選んだ理由としては、静岡県といった地震防災に関心が高い地域と山口県のように比較的地震が少なく、地震防災に関して意識が低い地域のモデルケースとなると考えたからである。以下、被験者がソフトを使用することにより得られたレーダーグラフとS-P曲線について順に述べる。

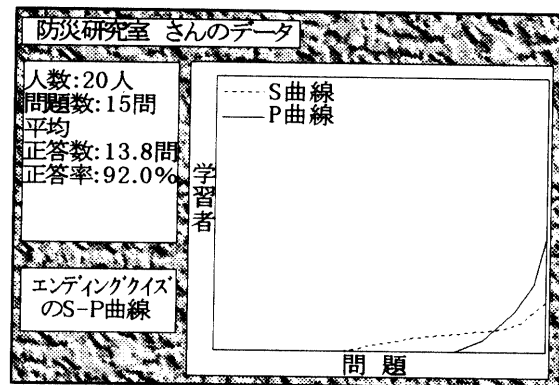
(2) レーダーグラフとS-P曲線

ある被験者から得られたレーダーグラフの結果の一例を図12に示す。この学習者は、初めて学習した学習レベル2において終了時に行ったクイズで15問中9問しか正解できなかったことが分かる。特に「地震災害」、「周辺知識」の項目について学習不足だったことがレーダーグラフの概形から分かる。さらに、クイズの結果が悪かったことで、同じ学習レベルを再学習した結果、クイズの正答率が上昇していることも読みとれる。

次に図13に防災関係の研究室におけるオープニングクイズとエンディングクイズから得られた両者のS-P曲線をそれぞれ示す。これより、S-P曲線は図13(a)の学習ソフト利用前に比べ、図13(b)の利用後の方がS曲線、P曲線とも右下へ変化し、学習効果のあったことがわかる。さらに、学習ソフト前後での両曲線の概形を比較すると、使用後の概形は



(a)オープニングクイズ



(b)エンディングクイズ

図13 防災関連の研究室におけるオープニングクイズとエンディングクイズのS-P曲線

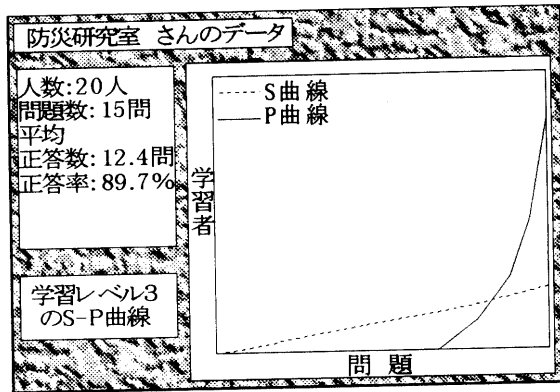
使用前のそれを縮小した形になっている。これは学習者がすべての学習項目について正答率が上がったことを表しているといえる。また、これらS曲線とP曲線との位置関係から、被験者と出題したクイズは等質であることが分かる。

次に防災関連の研究室と非防災関連の研究室の学習レベル3におけるS-P曲線を図14にそれぞれ示す。曲線の位置関係をみると、図14(a)から防災関連の研究室の方が右下に位置しており、クイズの正答率が高かったことを示している。また、両研究室ともS曲線とP曲線がズレが大きいことから学習レベル3のクイズ内容に不備な点があったことも考えられる。

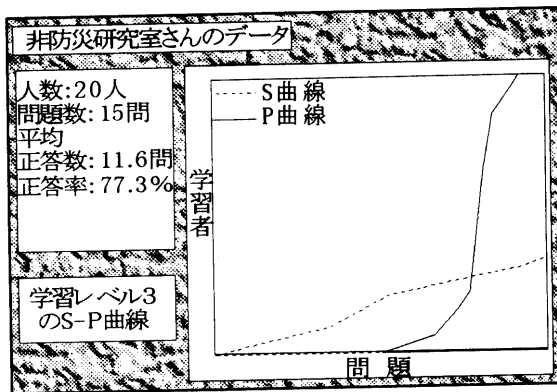
以上から、レーダーグラフおよびS-P曲線により視覚的に地震防災に関する知識の変化および問題の妥当性の有無をおおまかにみる事ができたと考える。

5. 結論

本研究は、小・中学校に多く設置されているローエンドパーソナルコンピュータでも動作する地震防



(a)防災関連の研究室



(b)非防災関連の研究室

図14 学習レベル3における防災関連の研究室と非防災関連の研究室のS-P曲線

災学習ソフトウェア「Quake Busters COMPACT」を開発した。そしてこれに、学習者の理解状況や出題内容の妥当性を視覚的に表示する機能を設けた。さらに、このソフトを大学の研究室の学生を被験者として実際にソフトを使用してもらい、その評価を行った。その結果、以下のような点が確認できた。

- ・学習者のクイズの解答データをグラフによって視覚化することで、教師などが学習者の防災知識の変化を視覚的に把握することができる。
- ・S-P曲線の表示により学習者やクイズの出題内容を再検討すべきかどうかの目安となる。

最後に今後の課題として以下のような項目があげられる。

- ・クイズ問題の内容および問題数の再検討
- ・S-P曲線を利用した防災知識レベルの定量化
- ・小・中学校現場での学習ソフトの評価

謝辞：本研究を進めるにあたり、貴重なご助言を頂いた山口大学工学部太田 裕教授と京都大学大学院清野純史助教授に深謝の意を表す。さらに、ソフト開発全般にわたり協力いただいた名古屋明技官および山口大学大学院生の瀬戸口圭治君、ソフト評価に際してご協力頂いた山口大学工学部知能情報システム工学科の学生諸氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Kouichi Takimoto, Fusanori Miura and Kazuo Sakao : Software for Earthquake Education of School Teachers Developed with a Personal Computer, Journal of Natural Disasters Science, Vol.15, NO.1, pp.29-38, 1993.
- 2) (社)日本電子工業技術振興協会：パソコン白書 94-95, pp.62-63, コンピュータエイジ社, 1995.
- 3) 藤田章弘, 瀧本浩一, 野田 茂, 三浦房紀 : 地震防災に関する学生の意識と学習効果, 土木学会 第 49 回年次学術講演会, 1-B, pp.1484-1485, 1994.
- 4) 佐藤隆博 : S-P表の作成と解釈～授業分析・学習診断のために～, pp.9-63, 明治図書, 1991.

(平成10年4月15日受理)

**DEVELOPMENT OF THE EDUCATIONAL SOFTWARE FOR EARTHQUAKE
DISASTER PREVENTION BY A LOW-END PERSONAL COMPUTER
AND VISUALIZATION OF ITS EFFECTIVENESS**

Kouichi TAKIMOTO and Fusanori MIURA

To use a low-end personal computer and evaluate the effectiveness of earthquake prevention education visually, we improved the software called "Quake Busters" which we developed before, by introducing S-P curve. When users such as elementary and junior high school students answer quizzes which are provided in Quake Busters, the answers are automatically saved and the validity of the quizzes is analyzed by means of Student-Problem(S-P)curves. We can judge the improvement of understanding the earthquake prevention before and after the usage of Quake Busters by shapes of S-P curves.