

## I-14 バーチャルリアリティを用いた橋梁維持管理技術者教育システムの提案

## Proposal of Bridge Maintenance Engineer Education System by Virtual Reality Technology

宮本文穂<sup>1</sup>・永田信人<sup>2</sup>・今野将顕<sup>3</sup>・中村秀明<sup>4</sup>

Ayaho Miyamoto, Nobuto Nagata, Masaaki Konno, Hideaki Nakamura

**抄録:** 本研究は、バーチャルリアリティ(VR)技術を用いて実際の橋梁と遜色ない仮想橋梁を表現するシステムを構築し、そのシステムを用いて橋梁の維持管理技術教育を行い、従来の紙資料を用いた教育手法との教育効果の比較・検証を行ったものである。本システムを用いることにより、実際に現場に出なくても、様々な損傷を時系列的に経験することができる。本システムの有効性を調べるために、まず教育の概要の決定を行い、その内容に従って本システムを用いて教育を行った。また、教育効果の比較のために、従来の紙資料による教育も行い、異なる教育手法による教育効果の比較・検証としてS-P表分析法による分析を行った。

**Abstract:** This paper presents development of system that expresses virtual bridge by virtual reality technology, and maintenance technique of the bridge education that used this system, and comparison of education effects between education that used past paper material and education that used this system. Various damages can be experienced in the time series without going to the site by using this system. To examine the effectiveness of this system, first of all the outline of the education was decided, the education was done according to this outline by using this system. Moreover, the education by past paper material was done for the comparison of the education effects. The analysis by the S-P table analysis method was done for the comparison and the verification of effect by different educational technique.

キーワード: Virtual Realty(VR), 技術者教育, S-P表分析法, 技術伝承, 橋梁維持管理

Keyword: Virtual Reality, Engineering Education, Student-Problem Score Table Analysis, Technique Inheritance, Bridge Management

## 1. はじめに

現在、我が国では少子高齢化が進んでおり、今後この傾向は続き、2006年以降は人口減少社会を迎えることが予測されている。このため、橋梁維持管理業務をはじめとして、様々な分野で技術者の人数が不足することや、高齢化に伴う熟練技術者の引退により、技術の未熟な技術者への技術の伝承の機会を失わせ、若手技術者の技術力低下が生じることなどが懸念される。一方、国内の社会基盤構造物は高度成長期に集中して建設されているため、近い将来には維持管理が必要となる構造物が急増することが予想される。しかし、最近の不況、国の財政事情の悪化から、維持管理に十分な予算を確保することが困難であるため、限られた予算を効率的に使用し、適切な維持管理を支援することが可能となるBMS(Bridge Management System)の研究

が行われている。著者らも、BMSの実用化に向けて種々の取り組みを行っているが、<sup>1),2)</sup>維持管理の基幹となる目視点検において技術者の技術力に差異があるため、点検結果にばらつきが生じてしまうという問題を有している。BMSが有効に活用されるためには、点検・診断が一定レベルの技術力を有した技術者によって行われ、点検・診断結果の信頼性を向上させることが肝要である。

また、技術者の技術力は、経験する現場の数に比例して向上するもの<sup>3)</sup>と考えられるため、従来のような中長期的観点での現場教育では、今後増大してくる老朽化橋梁の維持管理に対応できない。したがって、一定レベルの技術力を持った技術者を早期に育成する手法の確立が橋梁の維持管理において重要な課題であるといえる。

このような課題を解決するために、時間や場所の制

<sup>1</sup>フェロー会員 工博 山口大学 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

<sup>2</sup>非会員 工学士 山口大学大学院 理工学研究科博士前期課程 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

<sup>3</sup>正会員 博士(工学) JIPテクノサイエンス株式会社 (〒135-0016 江東区東陽 2-4-24)

<sup>4</sup>正会員 博士(工学) 山口大学 工学部知能情報システム工学科 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

約を受けずに受講者のペースで学習が可能となる e-learning を活用した教育方法についての研究が行われている。三上らは、鋼橋とコンクリート橋の点検技術者教育のシステムを e-learning の手法を用いて構築している<sup>4)</sup>。相原らは、建設コンサルタント業界での e-learning を用いた人材育成のあり方を示している<sup>5)</sup>。しかし、一般的な非同期型 e-learning は手軽である反面、受講者のモチベーション維持が難しく、個別の受講者に対して教材の更新や微調整が難しいといった問題を有している。

そこで本研究では、バーチャルリアリティ技術を採用し、「時間」、「場所」を選ばずに現場に近い環境を体験することが可能となる橋梁損傷仮想体験システム(以下、本システムと略す)の開発を行う。また、本システムを活用することにより、点検および診断などの維持管理に必要な技能を早期に習得することが可能となる教育手法の確立を行う。本システムおよび教育手法の有効性の検証を行うために、被験者 16 名に対して、従来方法による教育と本研究で提案する教育を行い、両者の比較を行う。教育結果の検証を行うために、簡易的で図解的に理解しやすい S-P 表分析法を適用する。これにより、成績順位や獲得した得点結果のみからでは判断できないような今後の育成ポイント・損傷箇所についての考察を得ることが可能となる。

## 2. システムの概要

### (1) システムの必要要件

技術者の教育を支援するシステムとして、「技術者の早期育成」、「育成にかかるコストの軽減」、「技術レベルの向上、バラツキ軽減」、「技術伝承を円滑化」などを必要要件として定義する。各要件の概要を以下に示す。

#### a) 技術者の早期育成

現在の我が国において技術者の早期育成は急務である。しかし、従来の技術者教育手法では熟練技術者とともに若手技術者も現場に出て様々な劣化、損傷を実際に経験することが必要であり、早期育成が十分には行えない。本システムに必要な要件の一つ目として従来の技術者教育手法と比較して早期に育成が行える必要がある。

#### b) 育成にかかるコストの軽減

従来のように現地へ何度も赴いて実際の現場を経験させる場合、時間・費用といったコストが多くなる。最近は多少持ち直したとはいえ、経済事情は良好とはいえ、技術者を抱える企業としてもコストは極力抑える必要がある。実際に現場に出なくても、例えば企業の会議室で、現場と同様の経験を積ませることが

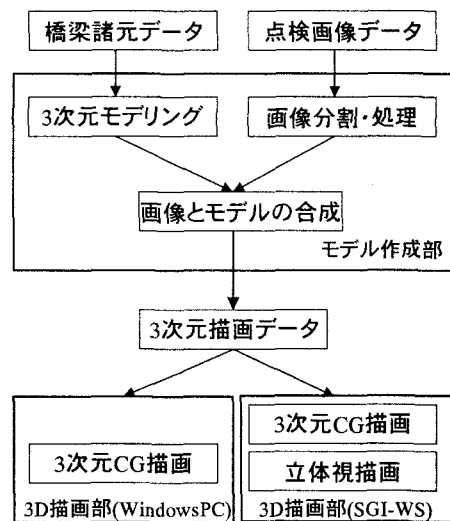


図-1 システム全体の構成

できれば移動に関わるコストを軽減することができる。本システムに必要な要件の二つ目として場所を問わずに実際の現場作業と遜色ない経験を積むことができる必要がある。

#### c) 技術レベルの向上、バラツキ軽減

たとえ熟練技術者であっても、維持管理業務は主観に依存して行うため、技術者ごとの差異が現れる。また、熟練技術者と比較して若手技術者は技術力も未熟であり、技術レベルの差異がある。このような、主観による差異と技術レベルによる差異は、点検の精度、一貫性を失わせる恐れがある。本システムに要求される要件の3つ目として、全体の技術力の向上、そして差異の減少がある。

#### d) 技術伝承を円滑化

近年の、高齢化と少子化の流れにより、今後の技術力を担うべき世代は不足している。同時に、今後短期間に発生する団塊の世代の定年による引退、そして不況により採用枠が減らされてきた中堅世代の不足により、若手技術者への技術伝承に支障が出てきている。多くの経験を積んだ熟練技術者からの技術伝承は、若手技術者の教育において重要である。したがって、熟練技術者からの技術伝承を容易に行うことが必要となる。

### (2) システム概要

本システムは、図-1 に示すように、3次元描画を行うためのモデルデータを作成するモデル作成部と作成されたデータから3次元CG描画を行う3D描画部の2つのサブシステムから構成される。また、3D描画部はWindows用とSGIのWorkstation用の2種類がある。

#### a) モデル作成部

モデル作成部では、必要な橋梁諸元を入力することにより、簡単に3次元橋梁模型表現のためのデータを作成することができる。また、実際の橋梁の損傷画像

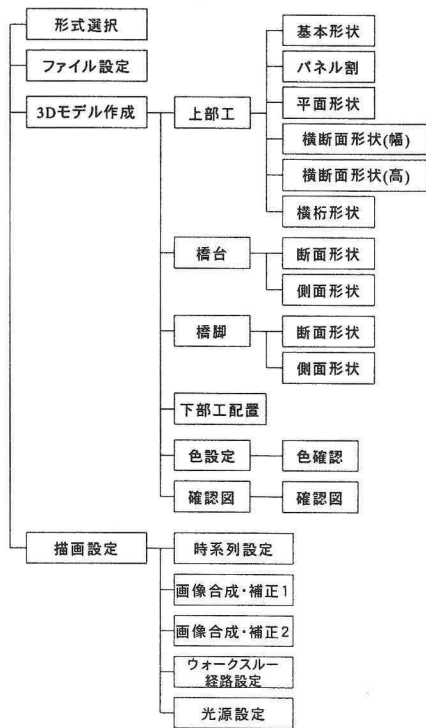


図-2 入力画面の構成

を読み込んで、部材の表面にテクスチャとして貼り付けることもできる。他にも、ウォークスルー機能の設定、光源の設定、時系列表現の設定が容易に行える。モデル作成部における画面構成を図-2に示す。また、部材表面にテクスチャを貼り付ける画像合成のシステム画面を図-3に示す。

### b) 3D 描画部

3D 描画部では、モデル作成部で作成されたモデルデータファイルを読み込むことにより、3次元CG描画を行う。Windows用とSGI-WS用の2種類があり、SGI-WS用では立体視メガネを使用することにより立体視描画が行える。Windows用3D描画部の画面を図-4に示す。

Windows用、SGI-WS用ともに描画はOpenGL<sup>6),7)</sup>を用いて行っており、視点の移動、橋梁模型の回転などをマウスで簡単に行え、橋梁の全景や実際の点検業務で同様の橋梁の下から見上げて観察することもできる。また、モデル作成部でウォークスルー経路の設定や時系列表現の設定を行ってあれば、あらかじめ決められた経路・視線方向での観察や、時間の経過とともに表面に現れる損傷の過程を観察することが可能となる。

## 3. 本システムを用いた教育手法

まず、本システムを利用した技術者教育に対する要求分析を行い、維持管理技能習得の目標と教育方法、学習方法の選定を行う。

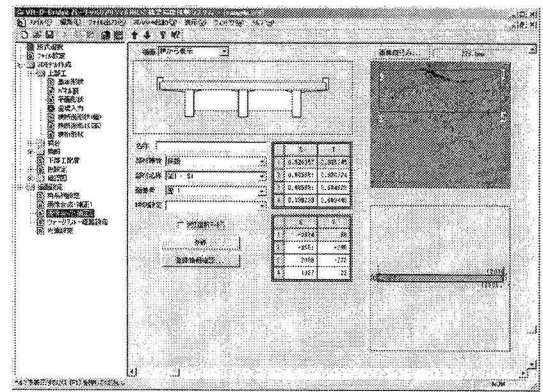


図-3 モデル作成部における画像合成の画面

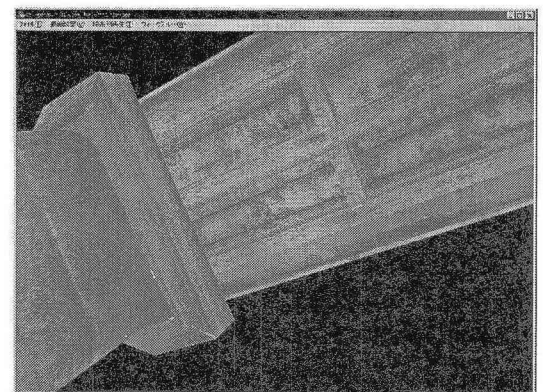


図-4 Windows用3D描画部の画面

### (1) 本システムを利用した教育に対する要求分析

本システムを利用した教育に対する要求分析は、学習者と指導者の二点について行い、学習者の特徴については、橋梁に関する知識をある程度持った者とあまり知識のない者との間で、学習内容に対する理解度に個人差がある。また学習者は維持管理業務を正確に遂行できる技能または維持管理業務に関する基本的な知識を習得しなければならない。したがって、維持管理業務を正確に遂行できる技能または維持管理業務に関する基本的な知識の習得を要求事項とする。指導者における要求事項は、対象となる学習者により異なる。例えば、自治体の新任技術職員や民間の新人技術者を対象とする場合、現場での維持管理技能を正確に理解させることが要求事項になる。一方、高校や高専、大学で土木工学を専攻している学生などを対象とする場合、維持管理に関する基本的な知識を理解させることが要求事項となる。

### (2) 維持管理技能習得の目標

維持管理技能習得の目標については、どのレベルの技能を習得目標にするのかを決定した。維持管理技術者は、橋梁管理者の定めた維持管理業務に関する基準類に則って損傷の発見と損傷状況の判定を行い、橋梁管理者へ報告する。この際、損傷の見落としや損傷度の判定ミスがあってはならない。そこで、新任技術職員や新人技術者を対象とする場合、維持管理業務を正

確に遂行できる技能の習得を目標レベルとした。また、学生などを対象とする場合は、橋梁管理者の定めた維持管理業務に関する基準に則った維持管理業務の基本的な知識の習得を目標レベルとした。

### (3) 教育方法と学習方法の選定

本システムを利用した教育に対する要求を踏まえた上で、適切な教育方法および学習方法を選択することが求められる。システムを利用した技術者教育で、現在一番手法が確立されているのが e-learning である。e-learning には様々な手法があり、学習者や習得技能の種類、目標レベルによって、教育方法や学習方法を選択するようになってきている<sup>9)</sup>。そこで、教育手法と学習方法の選定は、e-learning の手法を参考にして行う。

教育方法には主に「インストラクター主導型」と「学習者主導型」がある<sup>9)</sup>。学習者のニーズとして、熟練技術者による指導またはそれに準ずる指導が求められるため、「インストラクター主導型」とする。

学習方法には「同期型」と「非同期型」がある<sup>9)</sup>。現段階では、本システムが大量の画像データを扱う時、高スペックのマシンを使わなければ上手く動作しない場合が多く、また5方向1スクリーンのような出来るだけ大きなスクリーンを用いる方が臨場感を出すことができるため「同期型」学習法とする。

### (4) 教育手法の設計

学習者が維持管理業務を正確に行える技能または維持管理業務に関する基本的な知識を習得するために、本システムを利用した教育手法を設計する必要がある。しかしながら、維持管理業務は「点検」、「診断」と基本的に分かれたものである。したがって教育内容を「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 点検編」と「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 診断編」の2つに分類した。その構成を図-5 に示す。

#### a) VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 点検編

「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 点検編」は橋梁の点検業務を正確に遂行できる技能を習得するためのものである。ここでの学習者は点検に関する知識がまだ不十分であり、かつ今後橋梁の点検に関わる可能性のある者とする。本編の構成は、点検の基礎知識、損傷状況の確認、代表的な損傷の認識について学習、教育できるようにする。

#### b) VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 診断編

「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 診断編」は維持管理業務を正確に遂行できる技能を習得するためのものである。具体的には、橋梁点検が正確に行え、橋梁に発生した損傷状況の確認、劣化要因の推定、損傷度の把握・判定、今後の対策の立案ができることを目標としている。学習者は維持管理に関する基本的な知識があり、点検業務を経験した者で、今後橋梁の維

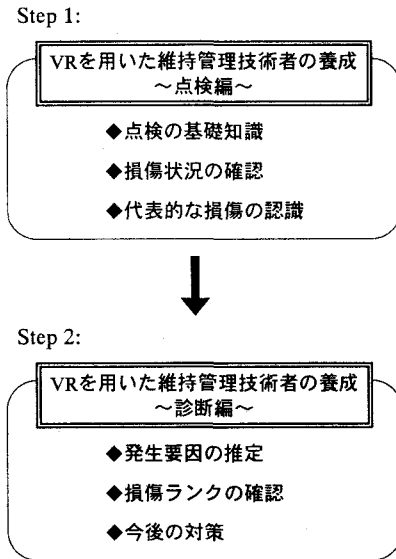


図-5 教育内容の構成

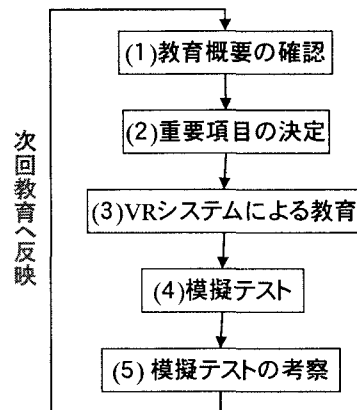


図-6 教育実施の手順

持管理に深く関わっていく可能性のある者とする。学習内容は文献<sup>10), 11)</sup>をもとに作成している。本編の構成は発生要因の推定、損傷ランクの確認、今後の対策について学習、教育できるようにしている。

### (5) 教育手法の作成

図-6 に示すように、「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 点検編」、「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 診断編」の段階的な教育手法を作成する。教育手順では、本手法が陳腐化しないようにするとともに、より事情に即したものとするために、模擬テストの考察をフィードバックするようになっている。教育手法の作成に際して、以下の5つの項目を考慮している。

- ・ 「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 点検編」は、橋梁点検業務の基礎知識の習得を目標とし、正確に損傷状況の確認を行え、その結果を損傷図に明記できるように配慮したものにす。

- 「VR を用いた橋梁維持管理技術者の養成 診断編」は、技術者が橋梁を正確に点検した上で発生要因の推定、損傷度ランクの確認そして今後の対策の立案ができるように配慮したものにす。
- 詳細調査等がより専門的な対策検討である場合は、別途検討すべき分野であると考え、技術者みずからその仕分けができる教育手法であることを基本とする。
- 種々の既存指針類・マニュアルは存在するので、本教育手法では、専門的な部分には深く立ち入らないようにした。
- 地震等の異常な外力によるひび割れは対象外とした。

#### 4. 本システムの有効性の検証

本システムが技術者育成の手法として利用されるようになるためには、本システムを用いた教育の教育効果を検証する必要がある。

橋梁の維持管理業務においては点検業務の品質が重要である。維持管理業務は「点検」→「診断」→「対策」の基本フローに沿って行われるため、点検の品質はその後の診断、対策に大きく影響する。点検業務の品質を確保するには、点検技術者は点検業務を正確に遂行できる技能を擁していなければならない。そのため、新任の維持管理技術者は点検技能を確実に習得する必要がある。

##### (1) 点検業務を対象とした検証

維持管理の中で「点検」をテーマに、本システムを利用した教育で点検業務の品質がどのくらい向上するかということに主眼を置いて検証を行う。まず、本システムを利用した教育が実際の橋梁点検において、どのくらい効果があるかを検証する。本システムを用いて学習者に対して橋梁点検に対する教育を行い、教育後、実際に橋梁の点検を実施する。その点検結果を専門技術者の点検結果、さらに従来の紙面による教育後の点検結果と比較・検証する。ここで、本研究では、専門技術者をコンクリート診断士の資格を有している実務経験者としている。

本検証での学習者は、筆者の所属する研究室の学生とした。本研究室の学生は、定期的に橋梁点検に参加しているため、点検に関する基本的な知識、損傷図の書き方は認識している。したがって、新人の技術者という区分に当てはまると考えた。また、指導者は橋梁点検の知識を有する者とした。

被験者 16 名を 8 名ずつの 2 つのグループに分割し、**表-1** に示すグループには本システムを用いて教育を行う。一方、**表-2** に示すグループには従来の紙資料を

**表-1** 本システムで教育を受ける対象者

学習者	立場	経験年数
A	学生	1~3
B	学生	1~3
C	学生	1~3
D	学生	1~3
E	学生	1~3
F	学生	1~3
G	学生	1~3
H	学生	1~3

**表-2** 従来の紙資料で教育を受ける対象者

学習者	立場	経験年数
A'	学生	1~3
B'	学生	1~3
C'	学生	1~3
D'	学生	1~3
E'	学生	1~3
F'	学生	1~3
G'	学生	1~3
H'	学生	1~3

**表-3** 教育概要

学習者	本研究室の学生 8 名
指導者	橋梁点検の知識を有する者
教育・学習目標	損傷の見落とし軽減
対象構造物	橋梁上部工の主桁

用いて教育を行う。ここで、2 つのグループに分割する際には、それぞれのグループの技術力に差異がないように慎重に行っている。ここで、教育対象者を、2 つのグループに分割するのは、教育結果の信頼性を確保するためである。本来は、同一の教育対象者において、既存教育、本研究における教育を行い、結果を比較することが望ましいと考えられる。しかし、同一の教育者に対しては、両方の教育を行ってしまうと、本研究における教育手法の結果が有利になることが望ましいということが暗に伝わってしまう可能性がある。したがって、技術レベルが同様な人員で構成されるグループに分割し、教育および点検の目的は、各点検者の点検結果のばらつきを分析することのみであると、教育対象者に伝えている。

##### (2) 教育の流れ

点検業務の中でも、見落とされやすいひび割れを対象にして、**図-6** に示した教育フローに従って教育を行った。ただし、この検証では(4)模擬テストと(5)模擬テストの考察は行わずに、(4)実橋梁での点検、(5)実橋梁での点検結果の考察という流れで行っている。

### a) 教育概要の確認

橋梁の点検において技術者の技術力の差異によって、最も点検結果にばらつきが生じてしまうものが、損傷の見落としとしてある<sup>12)</sup>。経験の少ない技術者は橋梁のどの部材、どの箇所にも損傷が現れやすいかを理解していないため、見落としが多くなる。損傷の見落としは、点検の信頼性を低下させるだけでなく、後の診断結果、今後の対策にまで影響を与えてしまう。すなわち、技術者が点検を行う上で、最も重要なことは、正確に損傷を把握し、その損傷を記録することである。そこで、今回の教育・学習目標は、橋梁の点検において、橋梁に発生した損傷を見落とすことなく発見することと設定する。対象構造物は橋梁上部工の主桁としている。決定した教育概要を表-3に示す。

### b) 重要項目の決定

橋梁に発生する損傷には様々なものがあるが、今回はその中でも最も代表的かつ重要な損傷である「ひび割れ」<sup>13)</sup>を対象にする。「ひび割れ」は、構造物の耐久性能や耐荷性能を評価する指標になり、ひび割れの発生位置や形態から発生要因を推定できる場合もあり、点検においてその重要度は高い。しかしながら、発生位置、大きさ、形態とも様々であり、最も見落としが多い損傷でもある。本研究室が実施した橋梁点検の際も、「ひび割れ」の見落としによる点検結果のばらつきが多く見られた。熟練技術者が橋梁に発生した「ひび割れ」を確認する際に、橋梁のどの部材、どの位置を重視しているのかということに重点を置き、熟練技術者の意見を基に、「ひび割れ」が発生しやすい部材、箇所の教育を行う。

### c) VRシステムによる教育

まず、決定した教育内容に合った3次元CG教育モデルを作成する。Y県にあるK橋を参考に2径間連続梁の3次元CGモデルを作成した。

本システムを用いた教育では熟練技術者の集約意見として、文献<sup>10), 11)</sup>を参考に「ひび割れ」が発生しやすい部材、箇所の教育を一つ目のグループに対して行った。本システムを用いて作成した3次元CGモデル橋梁で、「ひび割れ」が発生しやすい箇所、見落とししやすい部材をスクリーン上で、学習者に確認させた。教育時間は約30分ほどであった。

また、本システムによる教育と並行して従来の紙資料による教育ももう一方のグループに対して約45分を行った。

### d) 実橋梁での点検

実橋梁での点検は、Y県U市内を流れる河川に架かる橋梁(N橋)を対象に行った。点検は本システムによる点検前教育を受けたグループと従来の資料による点検前教育を受けたグループに分けて行い、点検結果の

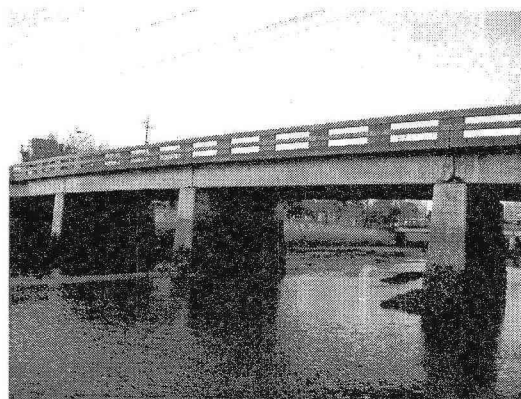


図-7 点検対象橋梁の概観

表-4 点検対象の橋梁

橋梁名	N橋	路線名	市道
橋格	不明	交差施設	河川
橋長	不明	架設年月	昭和35年3月
径間数	4径間	橋齢	43年
主桁構造形式	RC-T桁	床版構造形式	RC床版

模範資料を作成するために、コンクリート診断士による点検も行った。

今回点検を行った橋梁は、昭和35年3月に施工された橋齢44年となる4径間連続梁の5主桁で形成されたRC床版T桁橋梁である。正式な橋梁諸元を手に入れることができなかったが、過去に一度床版に補修を行った形跡があった。しかしながら、この橋梁は海岸近くに架設されており、塩害によると推定される損傷が数多く見られた。表-4に橋梁諸元を示し、図-7に橋梁の外観を示す。

橋梁点検は、N橋を対象に点検者に橋梁の主桁に見られるひび割れを記入し損傷図を作成してもらった。点検は目視で実施し、その際、点検時間は指定せずに、各点検者が全てのひび割れを記入したと判断した時点で損傷図を提出してもらった。各グループの点検者、コンクリート診断士の方ともに、約40~50分で損傷図を提出した。コンクリート診断士が作成した損傷図におけるひび割れ箇所は合計17箇所であった。

### e) 実橋梁での点検結果の考察

コンクリート診断士の方が作成した損傷図に記載された17のひび割れ箇所と、教育を受けた対象者がひび割れ箇所として記載した位置が合致する場合を正解とし、満点を17点として本システムによる教育を受けた対象者、従来の紙資料による教育を受けた対象者の得点を集計したものを表-5に示す。

表-5から各グループの正解ひび割れ数の平均を求めると、本システムを用いた教育を受けた対象者は12.25、従来の紙資料教育を受けた対象者は9.25となりひび割れの見落とし軽減という目的では本システムを

表-5 得点一覧

VR	得点	紙資料	得点
A	11	A'	10
B	11	B'	9
C	11	C'	9
D	15	D'	9
E	12	E'	6
F	11	F'	10
G	15	G'	10
H	12	H'	11
コンクリート診断士		17	

用いて教育を行った方が高い効果を示した。しかし、平均値から得られる情報だけでは、個別の教育対象者や個別のひび割れ箇所、また次回以降の教育のための有効な情報を得ることができない。一般的に、テスト結果から効果的な情報を得るために、因子分析法、S-P表分析法などが用いられる。因子分析法は多変量解析の手法で、潜在的な能力を測ることができる。S-P表分析法は得点一覧の分析方法で、因子分析ほどではないが表面に現れにくい能力を測ることができ、手続きも非常に手軽である。本研究における教育システムは、ひび割れを見落とさない能力を測ること、分析手法はできる限り単純で特殊な環境を求めないことなどが要件となっているため、S-P表分析法を用いてテスト結果の分析を行う<sup>14)</sup>。

### (3) S-P表分析法による検証

S-P表分析法とは、教育効果を判定する際のテストや演習問題等の得点一覧表データを簡単な手続きで図解的にわかりやすく分析するための手法である。S-P表分析法では前年度に用いた平均・分散による全体としての分析だけではなく、個別の教育対象者・個別の損傷箇所についての分析を行うことができる。また、成績順位や獲得した得点結果のみからでは判断できないような今後の育成ポイント・損傷箇所についての考察を得ることができる。S-P表分析法の特徴をまとめると以下のようなものがある。

- ・ 処理や分析の方法がわかりやすい
- ・ 図解的に判断でき、得点一覧表全体の特徴をとらえやすい
- ・ 統計的な分析に加え、質的な分析を行うのに便利である
- ・ 教育対象者の学習に関する診断評価と指導などに関する検討・評価の両側面をとらえることができる
- ・ 様々な得点一覧表の形式に適用でき、解釈を行いやすい

S-P表分析法の流れを図-8に示し、このフローに沿った検証方法を以下に示す。

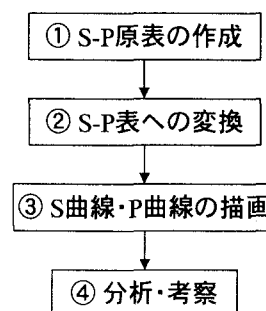


図-8 S-P表分析法のフロー

#### ①S-P 原表の作成

S-P表分析法ではテストや演習問題の得点結果一覧表を扱う。この得点一覧表では各行に各々の教育対象者(student)を配列し、各列に各々の設問(problem)を配列する。配列する際に教育対象者は上から番号順に、設問は左から番号順に並べて配列した得点一覧表をS-P表分析法ではS-P原表と呼ぶ。本システムを用いて教育を行った対象者の点検結果をS-P原表にしたものを図-9に、従来の紙資料による教育を行った対象者の点検結果をS-P原表にしたものを図-10に示す。

#### ②S-P 表への変換

作成されたS-P原表の行と列を並べ替え規則に従って並べ替えS-P表を作成する。この時の並べ替え規則は、正答率の高かった設問箇所を左から順に並べ替え、正答個数の多い教育対象者から順に上から並べ替えることである。また、正答率が同じ設問箇所があった場合、正答個数が同じ教育対象者があった場合は別の並び替え規則がその箇所に適用される。この場合の並び替え規則は、同一正答率の設問があった場合は、同一の正答率であった設問ごとに、その設問に正解した対象者の獲得した得点を合計した値を算出し、その数値が大きい順に左から並べ替える。また、同一の正答個数の教育対象者がいた場合は、同一の得点を得た教育対象者ごとに、その対象者が全部の設問のうちで正解した設問の正答者数を合計した数値を算出し、その数値が大きい順に上から並べ替える。これらの並び替え規則に従って図-9を並べ替え作成したS-P表を図-11に、図-10を並べ替え作成したS-P表を図-12に示す。

#### ③S 曲線・P 曲線の描画

S曲線・P曲線とはS-P表の中の0と1の分布を全体的・統計的に観察するために描く曲線である。それぞれの記入方法、特徴を以下に示す。

##### S 曲線

S-P表の各教育対象者について左から正答数だけ数えて、区切り線を入れる。それぞれの区切り線を結ぶことにより階段状の線となり、全体としては滑らかに湾曲する。この曲線は得点の度数分布を累積した分布曲線を表す。S曲線を見ることにより教育対象者の達

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
A	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	11
B	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	11	
C	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	11	
D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	15	
E	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	12	
F	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	11	
G	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	15	
H	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	12	
	8	8	6	8	3	8	1	8	7	5	1	6	7	2	4	8	8	98

図-9 S-P 原表(VR を用いた教育)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
A'	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	10
B'	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	9
C'	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	9	
D'	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	9
E'	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6
F'	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	10
G'	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	10
H'	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	11
	4	4	3	8	3	8	1	6	4	3	0	6	6	0	5	7	6	74

図-10 S-P 原表(従来の紙資料を用いた教育)

	1	2	4	6	8	16	17	9	13	3	12	10	15	5	14	7	11	
D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	15	
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	15	
H	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	12	
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	12	
F	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	11	
A	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	11	
B	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	11	
C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	11	
	8	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	4	3	2	1	1	98

図-11 S-P 表(VR を用いた教育)

	4	6	16	12	8	13	17	15	1	2	9	3	10	5	7	11	14	
H'	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	11
A'	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10
G'	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	10
F'	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	10
D'	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	9
B'	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	9
C'	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	9
E'	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
	8	8	7	6	6	6	6	5	4	4	4	3	3	3	1	0	0	74

図-12 S-P 表(従来の紙資料を用いた教育)

	1	2	4	6	8	16	17	9	13	3	12	10	15	5	14	7	11	
D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	15	
G	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	15	
H	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	12	
E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	12	
F	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	11	
A	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	11	
B	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	11	
C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	11	
	8	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	5	4	3	2	1	1	98

図-13 S・P 曲線(VR を用いた教育)

	4	6	16	12	8	13	17	15	1	2	9	3	10	5	7	11	14	
H'	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	11
A'	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	10
G'	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	10
F'	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	10
D'	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	9
B'	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	9
C'	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	9
E'	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
	8	8	7	6	6	6	6	5	4	4	4	3	3	3	1	0	0	74

図-14 S・P 曲線(従来の紙資料を用いた教育)

成水準や得点の分布傾向がひと目でわかる。

#### P 曲線

S-P 表の各設問について上から正答者数だけ数えて、区切り線を入れる。それぞれの区切り線を結ぶことにより階段状の線となり、全体としては滑らかに湾曲する。この曲線は正答者数の分布を表す。P 曲線を見ることにより設問の困難度の全体的傾向、各設問の正答率がひと目でわかる。

図-11 に S 曲線・P 曲線を記入したものを図-13 に、図-12 に S 曲線・P 曲線を記入したものを図-14 に示す。

#### ④分析・考察

教育を受けた各グループは差がないように分けられており、実際の点検も同様の方法で行っている。このため、二つのグループに差異が現れたとすれば教育に

よる影響と考えられるので、二つのグループの間にある差異について比較・検証を行うことにより分析・考察を行う。

まず、全体についての分析・考察を行う。全体の状況を知るために、本システムを用いた教育、従来の紙資料を用いた教育、それぞれのひび割れ発見個数の平均値と分散値を求める。発見個数の平均値は発見の精度、つまり技術力の程度を、発見個数の分散は技術力のバラツキ具合を表すと考えられる。発見個数の平均値と分散値を表-6 に示す。発見個数の平均値では本システムを用いた教育のほうが 3.0 上回っており、技術力の程度は本システムを用いたほうが向上していると考えられる。発見個数の分散値は従来の紙資料を用いた教育のほうがよい数値を表している。しかし、本シ

システムを用いた教育のほうが大きい分散を示しているのは平均値よりも大きい発見数である 15 箇所の発見をした対象者が二名いたからと考えられる、また、従来の紙資料を用いた教育では平均値を下回る 6 箇所発見した対象者が一名いる。よい結果の方向へバラツキが生じるのと悪い結果のほうへバラツキが生じており、一概にどちらの教育方法が技術力のバラツキ軽減に有効かは言いきれない結果になっている。

次に、作成された 2 つの S-P 表全体の様子、S 曲線・P 曲線の形状と位置関係から全体の傾向が把握でき、それぞれを本システムによる教育、従来の紙資料による教育について比較すれば視覚的に分析・考察が行える。具体的には、本システムによる教育方法のほうが両曲線の間に生じたズレが小さい、教育対象者の得点分布を表す S 曲線は本システムによる教育方法のほうが高得点である右側に位置している、設問の正答者分布を表す P 曲線は従来の紙資料教育のほうが横に幅広く伸びていることがわかる。まず、2 曲線の間のズレは教育内容と実際の点検内容との乖離の程度により増減する。2 つの教育方法のズレを比較してみると本システムを用いた教育の方がズレは小さいことがわかる。このズレの大きさを定量化したものととして、次式で算出される差異係数  $D^*$  を用いる。

$$D^* = \frac{S, P \text{ 両曲線の間の } 1 \text{ と } 0 \text{ の数}}{4Nnp(1-p) \times D_B(M)} \quad (1)$$

ここで、N:教育対象者数、n:設問数、p:平均正答率、 $M: \sqrt{(Nn)}$  の小数 1 桁を四捨五入した値、 $D_B(M)$ :表-7 より算定とする。それぞれの教育方法における差異係数を表-6 に示す。差異係数  $D^*$  は本システムを用いた教育のほうが低い値、つまりズレが少なく、教育と点検の乖離が少ない結果となった。S 曲線は教育対象者の得点分布を線で表現したものであり、全体の得点が高ければ高いほど位置が右のほうへ寄り、また、バラツキが大きいほど傾きは大きくなり傾斜する角も増加する。図中の S 曲線を比較すると本システムを用いた教育のほうが明らかに右側へ寄っており、傾きや傾斜する角は似通っている。これは、既に求めた平均と分散を視覚的に示したものとなっている。P 曲線は正答者数の分布を示し、線が下に寄るほど正答者数は多く、傾きが大きい場合は難易度が大きく違う設問があったと考えられる。図中の P 曲線を比較すると、本システムを用いた教育方法のほうが線の位置は下方に位置しており、正答率が高い設問箇所が多い結果になっている。ただし、どちらの教育方法でも線が上に非常に寄った箇所があり、正答率が低かったと考えられるひび割れがあったと考えられるので今後の教育ではその箇所が重点項目となりうる。

表-6 平均値・分散値・差異係数

	VR	紙資料
平均値	12.25	9.25
分散値	2.69	1.94
差異係数	0.385	0.676

表-7  $D_B$  の数表

M	$D_B(M)$
11	0.278
12	0.285
13	0.291
14	0.296
15	0.302
16	0.307
2	2
43	0.380
44	0.381
45	0.382

表-8 教育対象者ごとの正答率

教育対象者	A	B	C	D	E	F	G	H
正答率(VR)	0.647	0.647	0.647	0.882	0.706	0.647	0.882	0.706
教育対象者	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
正答率(紙資料)	0.588	0.529	0.529	0.529	0.353	0.588	0.588	0.647

表-9 ひび割れ箇所ごとの正答率

設問番号	1	2	3	4	5	6	7	8
正答率(紙資料)	0.500	0.500	0.375	1.000	0.375	1.000	0.125	0.750
正答率(VR)	1.000	1.000	0.750	1.000	0.375	1.000	0.125	1.000
	9	10	11	12	13	14	15	16
	0.500	0.375	0.000	0.750	0.750	0.000	0.625	0.875
	0.875	0.625	0.125	0.750	0.875	0.250	0.500	1.000

表-10 教育対象者ごとの注意係数  $C_s$

教育対象者	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
C.S(紙資料)	0.061	0.178	0.712	0.119	0.134	0.545	0.061	0.062
教育対象者	A	B	C	D	E	F	G	H
C.S(VR)	0.107	0.322	0.107	0.104	0.223	0.054	0.417	0.000

表-11 ひび割れ箇所ごとの注意係数  $C_p$

設問番号	1	2	3	4	5	6	7	8
C.P(紙資料)	0.250	0.250	0.308	0.000	0.923	0.000	1.000	0.857
C.P(VR)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	9	10	11	12	13	14	15	16
	1.000	0.615	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	1.000
	0.000	1.000	0.000	0.400	0.000	0.727	0.200	0.000

以上より、教育を受けた対象グループ全体としては本システムを用いた教育方法の方が点検技術者教育においては有効であるといえる。

次に、個別の教育対象者、個別の箇所について分析・考察を行う。まず、それぞれの正答率を求める。教育対象者ごとの正答率は、その対象者がどのくらいひび割れ箇所を見落とすことなく発見できたかを表し、それぞれの対象者の技術レベルを測る指針となる。箇所

ごとの正答率は、そのひび割れ箇所がどのくらい発見  
が難しかったかを表し、特に正答率の低い箇所は再教  
育を行う時の重点項目となりうる。また、2つの教育  
方法の間で正答率の比較を行うことにより、それぞ  
れの教育手法が、どのようなひび割れの発見に効果が高  
かったかがわかる。教育対象者の正答率を表-8に、箇  
所の正答率を表-9に示す。ひび割れ発見数の平均値が  
示したように、各教育対象者の正答率は本システムを  
用いた教育のほうが全体として高く、特に2名はコン  
クリート診断士の方と近い結果を出している。ひび割  
れ箇所の正答率でも、本システムを用いた教育のほう  
が全体として正答率は高い、しかし、どちらの教育手  
法でも非常に難易度が高く、見落としが多い結果を示  
したひび割れ箇所があり、今後の教育では発見率が低  
かったひび割れの形態についての教育を重点的に行う  
必要がある。次に表-10に教育対象者についての注意  
係数Csを、表-11にひび割れ箇所についての注意係数  
Cpを示す。注意係数とは、それぞれの対象者、それぞ  
れのひび割れ箇所についての異質性を示す値である。  
異質性は、技術力が高いと予想されるようなひび割れ  
発見数の多い対象者が、発見難易度が低いと思われる  
ひび割れ箇所を見落としている場合、逆に技術力が低  
い懸念のある対象者が、発見難易度が高いと思われる  
ひび割れ箇所を発見しているような逆転現象が発生し  
ている場合で高い値となり、特に1.0に近い値をとる  
対象者、ひび割れ箇所については正答率からは判断で  
きない点を含んでいると考えられ検討が必要といえる。

以上の分析・考察より、点検技術の教育において、  
本システムを用いた教育方法の方が、従来の紙資料教  
育と比較して技術力の向上では有効であると推察され  
る。

## 5. まとめ

本研究は、橋梁の維持管理技術者育成の新たな手法  
としてVR技術を用いたシステムを構築し、点検技術  
者育成における有効性を示したものである。以下に本  
研究の成果をまとめる。

- ① 教育のための3次元橋梁模型データを作成するた  
めのシステムと、作成されたデータから3次元橋  
梁模型を描画するシステムの構築を行った。
- ② 実在橋梁を基にして点検技術者教育を行うための  
3次元橋梁模型の作成を行った。
- ③ 作成された3次元橋梁模型を用いて点検技術の教  
育を受けたグループ、従来の紙資料教育を受けた  
グループの間で実橋梁の点検技術の比較検証を行  
い、本システムを用いた教育手法の有効性を示し  
た。

最後に、本研究における今後の課題を示す。

- ① システムのプロトタイプは完成したが、まだ機能  
が十分と言えず、機能追加の拡張を行っていく必  
要がある。また、実在橋梁と遜色のないようにリ  
アリティを今以上に向上していく必要がある。
- ② 点検技術の中でもひび割れを対象にした教育では  
本システムの有効性は示された。しかし、点検の  
際は他の損傷についても判別が必要であり、ひび  
割れ同様に本システムが教育に有効であるかを示  
す必要がある。
- ③ 橋梁の維持管理業務は、点検・診断・対策の基本フ  
ローに従って行われる。今後、本システムが維持管  
理業務全般の教育に用いられるためには、診断・対  
策の教育が行える必要がある。そのためには、診  
断・対策についての教育を行うための機能追加と教  
育方法の具体的な策定が必要である。

## 参考文献

- 1) 今野将顕, 瓦谷晴信, 宮本文穂, 中村秀明: 橋梁維持管  
理データベースシステムの実用化に関する研究, 土木情  
報利用技術論文集, 土木学会, Vol.12, pp.179-186, 2003.10.
- 2) 中村秀明, 今野将顕, 宮本文穂: 年度予算制約を考慮し  
た複数橋梁の維持管理計画策定, 土木学会年次学術講演  
会講演概要集, Vol.58, pp.63-64, 2003.9.
- 3) [http://petko.s21.xrea.com/engineers\\_fugure.htm](http://petko.s21.xrea.com/engineers_fugure.htm)
- 4) 三上市蔵, 君嶋三恵, 奥裕子, 和田佳子: 鋼橋とコンク  
リート橋の点検技術者の養成 e-Learning システムの構築,  
土木情報利用技術 講演集 Vol.28, pp.63-66, 2003.10.
- 5) 相原憲二, 三上市蔵, 島津雅納, 野倉剛志, 川崎靖彦:  
建設コンサルタント業界での人材育成における eラーニ  
ングの活用のあり方, 土木情報利用技術 講演集 Vol.28,  
pp.71-74, 2003.10.
- 6) <http://www.opengl.org/>
- 7) Edward Angel: OpenGL 入門, ピアソン・エデュケーショ  
ン, 2002.
- 8) 先進学習基盤協議会 (ALIC) (編): eラーニング白書  
2002/2003年版, オーム社, 2002.7.
- 9) 日本イーラーニングコンソシアム広報委員会: eラーニ  
ング用語集, 2003.7.
- 10) 建設省土木研究所: 橋梁点検要領 (案), 1988.7.
- 11) 建設省 近畿地方建設局 近畿技術事務所: ひび割れ判断  
の手引き (案) (近畿地建版), 1998.3.
- 12) 基礎地盤コンサルタント株式会社: 赤外線センサで診る  
コンクリート表面の「うき」「ひび割れ」調査, Nkc 保全  
topics, 1999.2.
- 13) 社団法人 日本コンクリート工学協会: コンクリート診断  
技術 [基礎編], pp.80-83, 2001.3.
- 14) 佐藤隆博: S-P 表の作成と解釈, 明治図書出版, 1975

(2005.5.20 受付)