

## 自動ピアノの演奏情報編集支援システムの開発に関する研究 データベースの構成と自動変換手法

高松 康哉\* 林 英治\*\* 森 一\*\*\*

### 概 要

ピアノ曲の場合、短い曲であっても、楽譜の中には1000個以上の音符がある。音符の編集には音の強さ、長さ、タイミングを編集する必要があり、曲の編集には、膨大な時間と労力が必要となる。そこで、本研究では、ユーザが効率的に曲の編集作業を行うための演奏情報編集支援システムを開発している。このシステムでは楽典や音楽的な知識や編集者の特徴を有する3つのデータベースを構築した。本論文では、作成した各種データベースの機能とその変換方法について述べる。

### Study on the Performance Information Edit Support System for an Automatic Piano

YASUYA TAKAMATSU\* EIJI HAYASHI\*\* HAJIME MORI\*\*\*

### Abstract

In the case of a piano music there are 1000 or more notes in a score even if a short music. However a user needs to arrange the respective tones to a tempo, a dynamic and so on, and must spent a huge time editing. Therefore, we have developed the performance information edit supporting system so that a user can edit a music efficiently. In the system 3 groups' databases were structured on the music theory, the know-ledge on the music grammar and the music reinterpretation and the user's preference, e.g., features based on the musical reinterpretation. In this paper developed databases and a method of translating the musical data using their databases were described.

### 1. 緒言

近年、電子技術の発達により、電子機器における電子楽器は著しい進歩を遂げている。電子ピアノにおいては、音質やタッチは生のピアノに近づき、自動伴奏などといった機能も充実しており、

ピアノ教育の分野においても、電子ピアノを活用している場合が多くなっている。さらに、オーディオの再生録音技術もまた進歩しており、高音質な音楽を我々に提供してくれる。そのため、それらの電子楽器やオーディオを通して、数多くの名曲、名演奏を聞き親しむことができるようになった。しかしながら、アコースティック楽器の生演奏は、上述したような機器で再生された演奏と比較すると、再生される機器によって、音質や臨場感といった面で劣るのが現状である。

開発した自動ピアノ<sup>[1][2][3][4]</sup>は、実際のピアノを用い、人間以上の演奏技法を可能とした。図1に本研究で開発した自動ピアノ演奏システムの概観を示す。グランドピアノの88個の鍵盤、ダンパペダル及びソフトペダルの合計90台の駆動

\* 九州工業大学大学院情報工学研究科  
Graduate School of Computer Science and System Engineering,  
Kyushu Institute of Technology

\*\* 九州工業大学情報工学部機械システム工学科  
Department of Mechanical System Engineering,  
Kyushu Institute of Technology

\*\*\* 株式会社アベックス  
APEX Corporation

装置が取り付けられており、打鍵、及びペダル操作を行っている。

しかし、開発した自動ピアノで演奏を行う場合、曲に表現をつけるためには、音の強さ、長さ、テンポなど音ごとに編集を加えなければならない。ピアノの場合、短い曲であっても楽譜の中にある音符の数は 1000 個以上あり、それらを一つ一つ編集するには、膨大な時間と労力が必要となる。

そこで、本研究では、より効率的に曲の編集が行えるように、演奏情報を可視化し、楽典や楽譜に関する知識や編集者の演奏特徴などを格納したデータベース<sup>[5]</sup>を構築し、演奏情報の自動変換や、編集者への音楽的知識の教示ができる演奏情報編集支援システムの開発<sup>[6][7][8]</sup>を目的としている。

本論文では、開発したデータベースとそれらのデータベースを用いた変換方法について述べる。



図 1 . 自動ピアノの概観

## 2. 演奏情報編集支援システム

### 2.1 システムの構成

図 2 に本システムの構成を示す。ユーザはユーザインタフェースを介して、データベースを任意に参照することで楽典に関する音楽知識等参照できるようにし、あるいは、任意の音を基準とした自動編集機能を使用できるようにした。

図 3 はユーザインタフェース画面である。この画面の構成は、詳細な曲の表現付けを可能とするために、楽譜の表示とともに、キーボードからの入力やマウス操作によって編集を可能とした。さらに、ユーザが音やペダルの編集状態を理解できるように、編集音の前後の演奏情報の表示、演奏情報のグラフ表示を行うようにしている。

これらにより、容易に曲データの編集を可能とし、ユーザインタフェースを用いて編集した曲の演奏情報は、開発した自動ピアノや MIDI 機器あるいはパソコン内臓の音源により再生することができる。

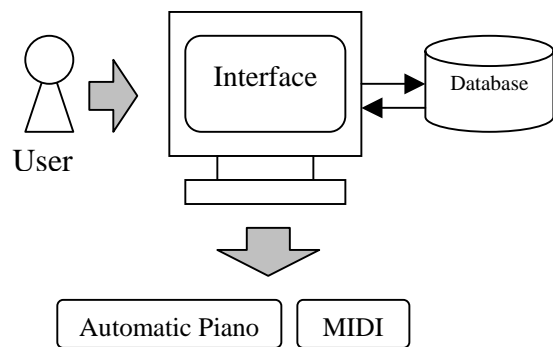


図 2 . システムの構成

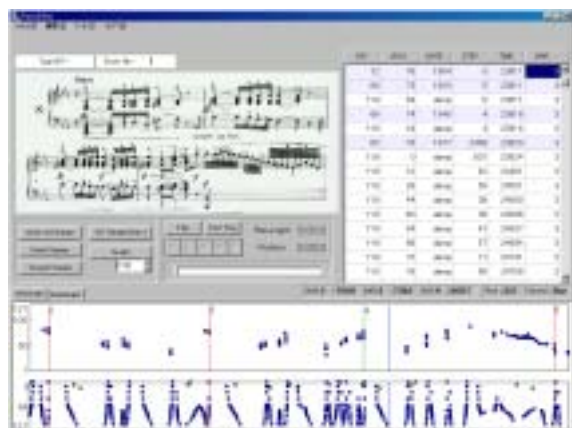


図 3 . ユーザインタフェース画面

### 2.2 演奏情報

編集の対象となる演奏情報には、音符情報とペダル情報の 2 種類を設定した。音符情報は 6 つのパラメータからなり、音の高さ(Key)、音の強さ(Velo)、音の長さ(Gate)、次の音までの間隔(Step)、発音する時刻(Time)、小節番号(Bar)で表す。ペダル情報は、ペダルの種類(Key)、ペダルの踏み込み量(Velo)、ペダルを踏む時刻(Time)、小節番号(Bar)で表す。

これらの値は、図 3(右上)に示すように、インタフェース画面上において、グリッド上に表示している。表 1、表 2 に音符情報のパラメータ、及びペダル情報のパラメータを示す。

表 1 . 音符情報のパラメータ

パラメータ	内容	単位
Key	音階 (21 ~ 108)	
Velo	音の強さ (1 ~ 127)	
Gate	音の長さ	ms
Step	次の音までの間隔	ms
Time	絶対時間	ms
Bar	小節番号	



い。そこで、音それぞれが属するフレーズや、そのフレーズが何回目なのかといった情報をデータベースに格納した。これにより、編集者は、1度編集を行ったフレーズに対しては、そのときに必要とする微妙な表現付けを行うだけで、容易にフレーズを変化させることが可能となる。

表3. Score Database の構成

種類	概要
Elementデータ	その音の役割と音価
記号データ	記号の場所と効果を発揮する範囲
Sameデータ	繰り返しの範囲、回数

### 3.4 Musical Rules Database の構成

楽譜上には、音符や休符以外に、様々な種類の記号、用語が存在する。音を記譜するための音部記号と五線や、音の幹音を変えずに高く、あるいは低く変化させる変化記号、小節を区切る小節線、ある範囲の繰り返しを指定する反復記号、ある音を装飾するために用いる装飾記号、曲の性格や表情を表示する発想記号などである。これらさまざまな音楽記号をできるだけ参照・整理しやすくするために、5つのグループに分類して Musical Rules Database を構築した。表4に Musical Rules Database の構成を示す

表4. Musical Rules Database の構成

種類	概要	例
強弱	特定の範囲内の音の強さを指定する	ff, mp
変化	特定の範囲内の音の強さ、又は曲の速さを変化させる	rit, cresc.
テンポ	特定の範囲内の曲の速さ、進行を指定する	Allegro
奏法	ある発音時間の和音、あるいは特定の音の強さ、長さ(Gate, Step)を変化させる奏法を指定する	fermata staccato
拍子	リズムに最小限の秩序を与える拍子を指定する	3/4

### 3.5 Preference Database の構成

前述したように、ピアニストの演奏にはその人固有の特徴が存在しているのと同様に、ユーザが曲を完成させた場合にも、特有の音楽的な表現・特徴を備えていると考える。また、ピアニストは演奏と同時にスキルを向上させ、新たな曲に対してもそれまでの経験を活かし、すぐに演奏することができる。しかしながら、コンピュータ音楽では、新たな曲を再生する場合には、最初から編集を行わなければならない。そこで、そのような特

徴を用い、新たな曲へできるだけその特徴を反映させて、編集の効率を向上させるため、Preference Database を用意した。表5に Preference Database の構成を示す。

Preference Database は、後述する記号ベクトルデータを基礎として、ユーザが編集した演奏情報から抽出して構成する。そして、同じフレーズに関するフレーズデータ、拍子記号などの音楽記号のついた Gate 比率データの3つの Database を用意した。

これらの Preference Database における演奏特徴の表現方法については後述する。

表5. Preference Database の構成

種類	概要
記号ベクトルデータ	記号が付いている音の Velo と Step からなる音ベクトル、記号
フレーズデータ	同じフレーズ内の音の Velo と Step からなる音ベクトル、フレーズの種類
Gate 比率データ	テンポ、拍子記号の付いた音の Gate の比率(Gate/Step)

## 4. Preference Database

### 4.1 特徴の表現方法

人間がピアノを演奏する場合、音の強さやテンポを調節する。しかし、実際のピアノの演奏では鍵を打鍵して、ハンマが上昇して弦を打ち、鍵を動かしてからハンマが打弦するまでには、音の強さに応じた遅れが生じる。強い音 (*fff*) では、その遅れは 20ms<sup>[9]</sup> くらい、弱い音 (*ppp*) では、200ms くらいとなる。そのため、音の強さ Velo と音と音の間隔 Step の2つのパラメータは1組で編集する必要がある。そこで、図5に示すような、音の強さと音の間隔を成分とする音ベクトルを定義し、その大きさ、向きをデータベースに構築する。この音ベクトルを用いて、強弱、奏法、変化記号についての記号ベクトルデータと、フレーズデータを作成した。

Gate 比率データは、テンポ、拍子記号が付いている音ごとに音の長さの比率を計算し、Preference Database に格納した。式(1)に Gate 比率の計算式を示す。

$$Size = \sqrt{Velo^2 + Step^2}$$

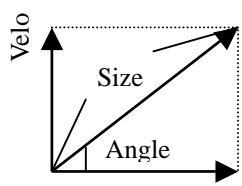
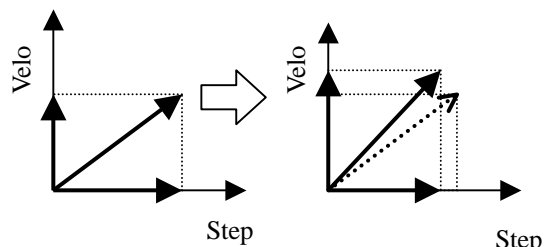
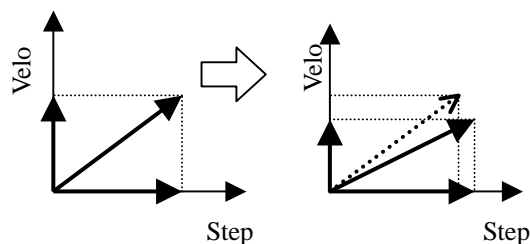
$$Angle = \tan^{-1}\left(\frac{Velo}{Step}\right)$$


図5. 音ベクトル

$$\text{Gate比率} = \frac{\text{Gate}}{\text{Step}} \dots \text{式(1)}$$



(a) Velo を強く(Step を小さく)した場合



(b) Velo を弱く(Step を大きく)した場合

図6. 音ベクトルの大きさを固定する方法

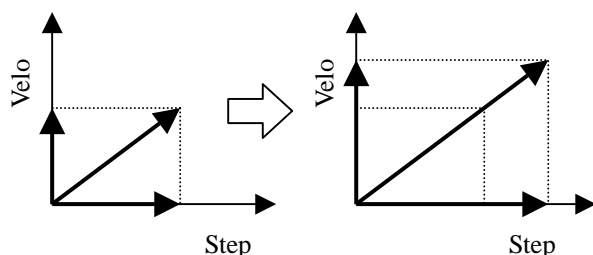


図7. 音ベクトルの向きを固定する方法



図8. 「悲愴」 1~2小節目

#### 4.2 音の強さと音の間隔の関係 (Velo - Step)

個人の特徴を実際に演奏情報に適用する場合、音ベクトルの大きさを固定して向きを変更する方法と、向きを固定して大きさを変更する方法の2通りがある。

図6に示すように、大きさを固定して、向きを調節する方法では、VeloとStepの間には、(a)Veloが強く(又はStepが小さく)なるように向きを変更すると、それに伴ってStepの値は小さく(又は

Veloが強く)なる関係がある。同様に(b)Veloが弱く(又はStepが大きく)なるように向きを変更すると、Stepの値は大きく(又はVeloは弱く)なる。

また、図7に示すように、音ベクトルの向きを固定して、大きさを変更する方法では、ベクトルの大きさの変更に伴って、Velo, Stepは大きく(又は小さく)なる。

### 5. 音楽知識に基づいた自動変換

今回使用する編集対象曲には、ベートーベンのピアノソナタ「悲愴」の第1楽章の最初の2小節を選択した。図8に「悲愴」の冒頭2小節の楽譜を示す。「悲愴」の1~2小節目には、強弱記号(フォルテ, ピアノ), 拍子記号(4/4拍子), 及びテンポ記号(Grave)の3種類の音楽記号が存在している。

ここでは、これら3種類の記号を対象にTMDを一般的な音楽知識であるMusical Rules Databaseを用い、さらに、主旋律の強調を行った後、Score DatabaseのSameデータを用いてフレーズ処理を行った結果と考察について述べる。

#### 5.1 自動変換結果及び考察

図9に自動変換前の「悲愴」の1~2小節目のTMDを示す。

図10に強弱記号に関する記号のMusical Rules Databaseを用いて自動変換した結果を示す。図8の楽譜をみてわかるように、強弱記号は1小節目と2小節目の先頭の「*fp*」である。これは、記号の付いた部分の音符を「*f*」、それ以降を「*p*」で強弱を付けるという意味である。2小節目の「*fp*」はちょうど小節の間に記譜されているため、その前後の2音を「*f*」の範囲とし、その後の音の強さを「*p*」とした。図10より、楽譜の記号どおりの変換が行われていることが確認できる。

図11に拍子記号に関して自動変換した結果を示す。楽譜において拍子は4/4拍子である。そのため、音楽的解釈から、1拍目に強拍、3拍目に弱拍の効果をつけることになる。図11において、1拍目と3拍目のVeloが強められていることがわかる。また、3拍目と比べて1拍目の方が若干強めに変換されていることも確認できる。

図12にテンポ記号に関して自動変換した結果を示す。本来「Grave」は「重々しく」、「厳かに」といった奏法に近い記号であるが、ここではテンポを表す記号として用いられているため、テンポの記号として解釈した。図12からわかるように、音と音の間隔から、テンポが変わったことが確認できる。

図 13 に主旋律の強調を行った結果を示す．同一時間に発音される和音内で音の強さにばらつきが得られることが確認できる．

以上の処理をすべて同時に行うと，図 14 のようになり，表現の付いた演奏情報を得ることができた．これにより，ユーザが TMD から編集作業を行う時より，編集作業の負担が減り，結果として編集効率も上がると考えられる．

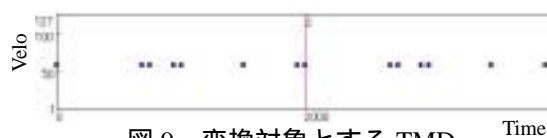


図 9．変換対象とする TMD

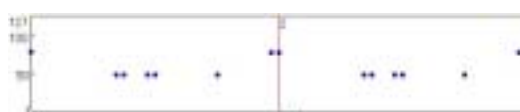


図 10．強弱記号による自動変換



図 11．拍子記号による自動変換



図 12．テンポ記号による自動変換

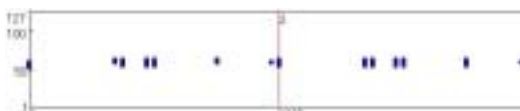


図 13．主旋律の強調



図 14．全ての処理の変換結果



図 15．フレーズ処理前



図 16．フレーズ処理後

## 5.2 フレーズ処理

ある音に対し編集を行った際，その音が Score Database の Same データ内のフレーズに属するか判定し，編集箇所のフレーズ内の前後の和音で Velo, Gate, Step の比率をとり，他の同じパターンのフレーズより得た比率を基に自動変換を行う．「悲愴」の 1 小節目と 2 小節目は同じパターン構成であり，これらの小節にフレーズ処理を適用した．

図 15 にフレーズ処理前，図 16 にフレーズ処理後を示す．図 15 は 1 小節目のみユーザが編集をおこなった状態で，この 1 小節目のフレーズを基に，2 小節目に適用すると，図 16 のように類似した形態がえられる．これにより，同じパターン構成のフレーズに対しての自動変換が可能となり編集作業の低減が図ることができる．

## 6. Preference Database を用いた編集

### 6.1 変換条件の設定

Preference Database に格納した音ベクトルを用いることにより，ユーザの特徴を持った演奏情報が提供できると考えられる．ここでは，「悲愴」の第 1 楽章 1 小節目から抽出したフレーズデータを用いて，新たに再編集する場合を想定した．変換方法は，4.2 で示した，大きさを固定して，方向を変化させる方法と，音ベクトルの方向を固定して，大きさを変化させる方法の 2 通りの例を示す．

### 6.2 変換の流れ及び変換結果

変換には，図 17 に示す演奏情報から抽出した Preference Database のフレーズデータを用いる．図 18 に新たな編集対象である演奏情報を示す．

#### 6.2.1 音ベクトルの大きさを固定する方法

この変換では，まず始めに，図 6 で示した方法で音ベクトルの大きさを固定し，1 音目の音データの Velo や Step を基準にフレーズを音ベクトルの向きに対して変換を行う．

1 音目の音データの変換前と変換後の音ベクトルの向きの比率から，フレーズの残りの音データを図 6 のように向きを変更し Velo, Step を変換した．図 19 に，音ベクトルの大きさを固定して，(a)1 音目の音データの Velo を基準にして変換した結果と，(b)Step を基準にして変換した結果を示す．

### 6.2.2 音ベクトルの向きを固定する方法

この変換では、図7で示した方法で音のベクトルの向きを固定し、1音目の音データの Velo や Step を基準にフレーズデータの音ベクトルの大きさに対して変換を行う。

1音目の変換前と変換後の音ベクトルの大きさの比率から、残りのフレーズの音データを図7のように、大きさを変更し Velo, Step を変換した。図20に、音ベクトルの向きを固定して、(a)1音目の音データの Velo を基準にして変換した結果と、(b)Step を基準にして変換した結果を示す。

### 6.3 考察

図19及び図20に示すように、4種類とも異なる特徴を表した結果を得ることができた。図19の音ベクトルの大きさを固定した結果では、変換の基準として Velo, Step のどちらを指定しても、変換後のフレーズ全体の Velo, Step は、変換前と比べて、微妙な変化に留まっている。しかし、実際にはユーザが、曲を微調整する段階において、Velo や Step とともにわずかな変更であり、例えば、Step では数 msec オーダーで変更する。この変換は、より人間らしい変換であると考えられる。

また、図20の音ベクトルの向きを固定した結果では、Velo, Step の値は大きく変化している。同時に曲のテンポも変更されているのがわかる。実際の演奏では、フレーズ内で Velo を徐々に強くしていったとき、同時にテンポも遅くなるように演奏する場合があります、この変換はそのような演奏を表現していると考えられる。

以上、4種類の変換結果を示したが、実際にユーザがどの結果を選択するかは、そのユーザ自身の好みの問題であり、どの結果がいい演奏、悪い演奏なのかといったことは一概には言えない。

また、今回は、変換の際にフレーズ内の1音目の音データを基準に音ベクトルを2つの方法で変換した結果を示したが、1音目以外の音データを基準に設定して変換処理を行えば、より多彩な演奏情報をユーザに提示し、提供することができる。

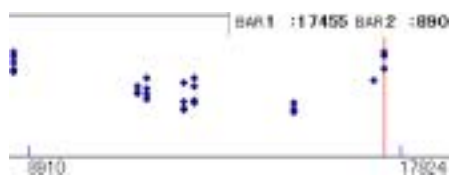


図17．特徴を抽出する演奏情報



図18．変換前の演奏情報

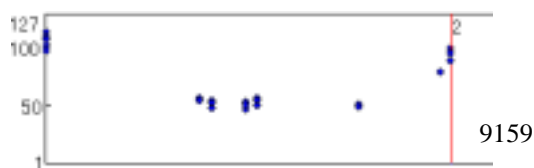


(a)1音目の Velo を基準とした場合



(b)1音目の Step を基準とした場合

図19．音ベクトルの大きさを固定した変換結果



(a)1音目の Velo を基準とした場合



(b)1音目の Step を基準とした場合

図20．音ベクトルの向きを固定した変換結果

## 7. 結言

今回、自動ピアノのための演奏情報編集支援システムの開発を行い、編集効率の向上を図った。演奏情報を編集するために、より使いやすいユーザインタフェースを作成し、実際の編集作業で十分役立てることを確認した。また、人間と同様に、本システムでも音楽知識、経験を活用した編集支援を行うために、楽譜情報のデータベース(Score Database)、楽典のデータベース(Musical Rules Database)、編集者の特徴に関するデータベース(Preference Database)の3種類のデータベースを開発した。また、これらのデータベースを用いて、

音楽知識に基づいた自動変換,編集時の音楽知識の教示,編集者の演奏特徴に基づいた自動変換処理を作成し,基本的な音楽知識に基づいた演奏情報,ユーザの演奏特徴が取り入れた演奏情報を提供できるようにした.

Preference Database は,異なる曲に適用することを前提としているが,今回はその特性を付加するために,個人の特徴に基づいたフレーズの特徴を格納し,同一曲の同一箇所についてその変換を行った.結果として,微妙な変化をもったデータや趣向の違ったデータを提示することができ,編集時の負担を軽減することができた.

## 参考文献

- [1]E.Hayashi, M.Yamane and H.Mori, Development of Moving Coil Actuator for an Automatic Piano, 平成 6 年 6 月,International Journal of Japan Society for Precision Engineering, Vol.28 No.2, pp.164 ~ 169 (1994.6)
- [2]林英治, 山根雅巳, 森一, 自動ピアノの開発に関する研究第 1 報,ハンマ打弦至るまでのピアノアクションの挙動の解析,日本機械学会論文集 C 編 60 巻 579 号, pp.325 ~ 331. (1997.11)
- [3]林英治, 山根雅巳, 森一, 自動ピアノの開発に関する研究第 2 報,ピアノアクションの解析に基づく同一鍵の反復打鍵の研究,日本機械学会論文集 C 編 61 巻 587 号,pp.339 ~ 345 (1995.7)
- [4]Hayashi, E., Yamane, M. and Mori, H.: Behavior of Piano-action in a Grand Piano for an Automatic Piano, Proc.1st Pioneering International Symposium on Motion and Vibration Control in Mechatronics, pp.80-85 (1999)
- [5]Hayashi, E., Mori, H. : Interactive musical editing system for supporting human errors and offering personal preferences for an automatic piano, Proceeding of the Seventh International Symposium on Artificial Life and Robotics, Vol.2, pp.513-516 (2002)
- [6]K. Asami, E. Hayashi, M. Yamane, H. Mori and T. Kitamura, An Intelligent Supporting System for Editing Music Based on Grouping Analysis in Automatic Piano, IEEE Proceedings of RO-MAN '98, pp.672 ~ 677 (1997.9)
- [7]元山祐弥, 林英治, 他 3 名, ピアノ自動演奏システムの開発 - 演奏情報編集支援システム - 第 5 回知能メカトロニクスワークショップ, pp.209 ~ 215. (2000.8)
- [8]中村 勝一, 林 英治, 森 一: ピアノ自動演奏システムの開発に関する研究 演奏情報編集支援のための情報処理システム, 2001 年度精密工学会九州支部 長崎地方講演会 講演論文集, pp.31-32 (2001)
- [9]林 英治, 山根 雅巳, 森 一: 自動ピアノの演奏情報処理に関する研究 第 1 報, ピアノアクションの挙動に基づく基本的な打鍵のための変換処理方法, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.7, pp.2049-2061 (2000)