

大学院理学研究科情報科学専攻 学位論文発表会

1. 会場：高知会館

2. 日時：平成12年2月15日9時30分～16時

3. 発表者及び論文

氏名	論文	発表時間
東 龍 志	月画像におけるクレーターの特徴抽出及び分類システムの研究	9:30-9:55
金 山 智 一	データマイニング法による大規模映像情報の要約に関する研究	9:55-10:20
木 内 光	分散協調処理のためのアクティブ・メディアサーバ・アーキテクチャとその応用	10:20-10:45
富 久 剛 旨	CADデータベースに関する研究	10:45-11:10
岡 村 隆 宏	2次元、3次元における図形の集合演算の研究	11:10-11:35
門 崎 学	気象衛星ひまわり5号搭載 VISSR 可視画像の問題点と補正	11:35-12:00
深 澤 美 香	FDL統合開発環境について	13:30-13:55
越 智 愛 里	擬人化エージェントを用いた知的学習支援システム	13:55-14:20
加 藤 正 剛	複雑系のコンピューターシミュレーション — パーコレーションモデル —	14:20-14:45
川 上 正 之	暗号理論における楕円曲線アルゴリズムの研究	14:45-15:10
泓 田 賢 治	ジュリア集合のマルチフラクタル解析	15:10-15:35
森 己 希子	知的語学学習支援のための誤り解析アルゴリズムの開発	15:35-16:00

## 月画像におけるクレーターの特徴抽出及び分類システムの研究

情報科学専攻 計算機科学講座

東 龍志

近年のリモートセンシングでは、通信状況の改善やセンサーの高機能化により、画像を中心とした大量の異種科学データを取得することが可能となってきた。また、計算機のダウンサイジング等によりそのデータ量は研究室レベルでも10GB～数TBにも及ぶ。そこでデータを蓄積するのみではなく有効利用するために、データベースからの知識発見(データマイニング)を行う理論的、実践的な研究が進められている。そして実際に大規模なサイエンティフィックデータベースを構築するとともに、特徴抽出や分類を行って二次的カタログデータベースを作成することが要請されている。

本研究ではすでに現存する幾つかのデータマイニングシステムの成果を踏まえ、米国クレメンタイン衛星による月表面画像のクレーター対して特徴を自動的に抽出し、分類評価を行う研究について報告する。まず予備実験として2枚の衛星画像からクレーターを37個選び出し、Kohonenの自己組織化マップ(Self-Organizing MAP:SOM)による分類を行った。その際、適切な正規化(サイズ・輝度)を施す必要が生じ、これについて検討した。また、SOMの入力ベクトルとして画像階調値、階調値によるヒストグラム、周波数係数の3つの戦略をたて、特徴抽出及び分類を行い検討した。

画像階調値によるSOMでは、特徴マップ上で左におわん型、右に平底型といった特徴を確認できた。しかし太陽方向の違いによる影の向きの影響も大きく、マップの上下で影の向きにより分類される結果となった。そこで、影の向きを表現しないクレーター情報としてヒストグラム及び周波数成分を求めSOMを作成した。しかしクレーターによっては階調値の種類が極端に少ないクレーターが存在し、ヒストグラムでは意味のある特徴マップを得ることができなかった。また2次元離散コサイン変換により得たクレーター画像の周波数成分では、直流成分で誤差±1%程度と精度が低く処理時間の点でも難があるため現状では保留としている。

以上より、画像階調値(太陽方向・サイズ・輝度を正規化)を入力ベクトルとする事が最適と考えられ、この方針に基き北緯56～63度の全衛星画像よりクレーターを切り出し解析を行っており、その結果についても報告する。

# データマイニング法による大規模映像情報の要約に関する研究

情報科学専攻 計算機科学講座

金山 智一

近年、データベースやデジタル技術の進歩に伴いテレビや映画といったビデオ情報の様に膨大な情報量を持つ様々な情報がデジタル化され蓄積されるようになった。しかし、ただ情報を蓄積するだけではこれらの情報を有用に利用することはできない。特にビデオ情報は様々な情報を含んでおり非常に利用価値が高く、効果的に検索利用できる要求が高まっている。現在実用化されているのは、人手により場面場面に内容記述を付けているものである。しかし、ビデオ情報は数テラ( $10^9$ )バイトにもなり、これらのデータを人手によって調べるのは実用的でない。

そこで本研究では、大量のデータから自明でない規則性やパターンを取り出す手法であるデータマイニング法を適用する。データマイニング法の一種であるクラスタリングと相関ルールを組み合わせることによって知識発見手続きの処理を半自動的に行ないコンテンツベースのビデオの検索を可能とする。

本研究では、画面の構図が簡単で、同じようなシーンが繰り返し現われ、結果が分かりやすいと考え、プロ野球中継のビデオを実験対象とした。本研究におけるデータマイニングのステップを以下に示す。

1. ビデオ情報は静止画像の時系列データであると考え、ビデオ情報を連続した静止画像に変換し実験を行う。
2. 静止画像の色情報を用いて Kohonen の自己組織化マップによりクラスタリングを行ない、投球シーンなどの特徴付けを行なう。
3. 連続した静止画像に割り当てられたクラスタの値を時間軸上に列挙する。その時系列データからノイズを除去しカットごとにまとめた時系列データを生成する。
4. 時間依存の相関ルールであるエピソードルールを適用することにより、時系列の中に存在する特徴を持った変化のパターン情報を抽出する。
5. 抽出した変化のパターン情報をより有用に使うためにビデオ情報の時間の流れと映像を概念化し、それを概念マップとして表現する。
6. データベースと web ブラウザの連携により視覚的に検索可能とする。

これにより、ビデオ情報の意味を持った時系列データや、また、大きな流れなどのビデオの要約された情報を知ることができる。検索例として、「先攻のチームの選手が外野へのヒットを打ったシーン」といったのもや、「得点の入った回」などのダイジェスト検索が可能である。

本研究では、ビデオ情報にデータマイニング法を適用することにより、コンテンツベースのビデオ検索を行うこの手法の有用性を示した。我々の開発したこの手法は他の様々なビデオ情報にも適応できる可能性がある。

インターネットの目覚ましい発展により，利用者は目的に応じた様々な情報をネットワーク上から獲得できる環境にいる．しかし，インターネットを基盤とした今日のネットワークは異種分散情報源によって構築されており，さらにこれらはオープンかつダイナミックな情報空間を構成する．このような環境下で利用者が目的の情報を適切に獲得することは非常に困難であり，異種分散情報源への位置透過的アクセスと統一的な利用というものが求められる．

本研究で開発したアクティブ・メディアサーバ (Active Media Server:以下 AMS) はこういった問題を柔軟に解決する自律的システムであり，能動データベース，マルチエージェントといった考えに基づいて開発されている．以下に AMS の特徴を示す．

1. AMS を構成するマルチエージェント群は，能動データベースにおける EventConditionAction ルールによってその行動を管理されている．これによってエージェント間の協調は促進され，AMS がユーザから要求を受けてその結果を返す，といった一連のタスクを確実に処理することができる．
2. 外部から獲得した情報は AMS によって XML データに変換され，最終的にはそれらを統合した XML 文書として保存される．XML を用いることでより再利用性の高いデータとして蓄積され，利用者からみれば XML データベースとしての役割も担うことになる．
3. AMS は既存のブラウザを介してユーザインタフェースを提供する．従って，利用者は特別なアプリケーションを必要とせず，しかも利用にあたって特別な知識も必要としない．

このような特徴をもつ AMS は利用者と情報源との間に立つミドルウェアであり，様々な応用が考えられる．本研究ではその応用例として遠隔教育システムへの適用を行った．遠隔教育システムは生涯学習のニーズの増加や大学における講義の多様化といった点から注目されている．AMS はマルチメディア・データを対象としているため，マルチメディアを利用した講義データを構築可能であり，教師と生徒の間でリアルタイムに質問／回答を行うような講義に臨場感を持たせる機構を容易に実現することができる．

本研究ではアクティブ・メディアサーバのアーキテクチャのモデルを提案し，設計と実装について論じた．特に遠隔教育システムへ適用し，その有用性を示した．

# CADデータベースに関する研究

情報科学専攻 計算機科学講座

氏名 富久 剛 旨

近年、CADシステム(Computer Aided Design)は、製造業における統合的情報システムの中核を為すものとして、様々な研究が進められてきた。

CADには高レスポンスが求められる為、従来は主にメインフレーム機や、UNIXワークステーション上で利用されてきた。その為、ハード、ソフト共に非常に高価な物であり、設計者全体の内、何割かが利用しているに過ぎなかった。しかし近年、パソコンの高性能化、低価格化により急速に普及し、設計者一人に対して1台または複数台のCADが利用される環境となった。その結果、一つの企業のある設計部門においても、複数の種類のCADが混在し、CADの機能、使用目的、使用コスト等の制約に応じて、それぞれ利用されている。

現在、CADには非常に多くの種類(汎用 or 専用、2次元 or 3次元、等)が存在しており、それぞれに取扱う事のできるデータ形式が異なっている。CALS(Continuous Acquisition and Lifecycle Support)等の標準規格も、現状ではほとんどのCADが未対応である。

その為、作業者は膨大な数の図面データに対し、各々のデータ形式の違いを意識しながら作業を行う必要がある。

従来のCADデータベースは、異なる形式のCADデータに対し、図面情報について一括的に更新作業を行う事はできなかった。例えば、図面枠や設計者等の変更作業を行う場合、それぞれのCADデータ単位、あるいはファイル単位で作業を行わなければならなかった。

この研究の目的は、オブジェクトリレーショナルデータベースを用いて、異なる形式のCADデータ、図面情報を一元的に管理し、CADデータの形式の違いを意識せずに作業が行える、CADデータベースシステムを構築する事である。その為、以下の作業を行った。

1. 現在までのCAD及びCADデータベースに関して調査を行い、CADデータベースに必要な機能について考察した。
2. 知的協調作業の並列性制御について調査を行い、設計作業及び図面管理作業の並列性制御の方法について示した。
3. 提案するモデルに従い、CADデータベースを構築した。

## 2次元、3次元における図形の集合演算の研究

情報科学専攻 情報数理学講座

岡村 隆宏

本研究の目的は、論理的手法による図形の集合演算を構築することである。この手法は、応用の広さや厳密性に優れており、その意義は大きい。ここでいう図形とは、2次元では多角形、3次元では多面体を指す。図形の基本演算は、共通部分と補集合演算の二つに帰着される。そのうち、補集合は図形に向きを導入してその向きを反転させることで表現する。よって、今回は演算系を構築するにあたって重要な共通部分演算を主とする研究を行った。

まず、2次元平面での多角形共通部分演算について研究した。多角形はその頂点の座標列を与え、境界の進行方向に対して左手側を内部とすることで表現する。多角形同士の共通部分を求めるとは、共通部分に対するこのような表現を得ることである。共通部分を求めるアルゴリズムのポイントとなるのが Junction (乗り換え点) と呼ばれる点である。Junction とは、境界の交点のうちで、その点から進む方向がもう一方の多角形の内部方向となっている点のことである。Junction が指し示す方向に従って頂点をたどることで共通部分を表現する頂点列を得ることができる。今回の研究では Junction の判別に有向角を利用した。そして有向角の有用性を示した。

次に、3次元における多面体共通部分演算の研究を行った。多面体は多角形の集合でその境界(多面体の表面)を与え、各面が反時計回りに見える方向を内部とすることで表現する。多面体においても、共通部分を求めるとは、共通部分に対するこのような表現を得ることである。多面体の各面の向きは、それが共通の領域を指し示す整合性がなくてはならない。その為各面の向きの整合性をとるアルゴリズムも併せて研究した。共通部分演算アルゴリズムの概略を説明する。まず、一方の多面体の各面に対して、その面を含む平面によるもう一方の多面体の断面を求める。次に、その断面とその面との共通部分を求める。このようにして得られた多角形の集合が、多面体同士の共通部分を表現している。このアルゴリズムで重要なのが、多面体の断面を求める部分である。この部分が、3次元の集合演算を2次元に帰着させる重要な役割を担っている。

# 気象衛星ひまわり5号搭載VISSR可視画像の問題点と補正

情報科学専攻 情報処理学講座 門崎 学

静止気象衛星ひまわり5号 (GMS-5) は可視1チャンネル、赤外3チャンネルの観測センサを持ち、1時間ごとに地球の北から南までを走査したデータを送信していて、そのデータは地球の気象情報を客観的に捉える資料として重要な存在である。なかでも可視画像は、分解能が高く赤外画像にはほとんど写らない霧や海氷も、それぞれ、白く滑らかにあるいは特徴的なテクスチャが写し出されることから、非常に役立つことが期待されている。しかし、GMS-5の可視画像データは、観測対象によって、画像の状態が著しく悪化するなど問題があることが知られているにもかかわらず、現在のところ、その問題の検証やこれを解決するための補正に関して、具体的な研究は報告されていない。そこで、本研究では、現在の可視画像データを、より高精度で多彩な解析対象に利用できるように処理を施し、さらに、解析に用いることによってその実用性を確かめることを目的とした。

GMS-5のオリジナルS-VISSRデータを解析した結果、可視画像には、走査線ごとに観測値が明らかに異なるものが存在し、それは朝夕など太陽光線の入射角が小さく、観測対象の輝度が小さい場合に、特に顕著にみられた。可視画像は4個の検出素子が平行に走査する形で構成されているため、それぞれの感度に差があることが原因ではないかと考えられる。観測値の分布について検討を行った結果、各検出素子で、いくつかの決まった観測値が検出されていないことが明らかになった。さらに、その検出されない観測値の前後のレベルにピークが形成されていた。これは、本来現れるべき輝度が、その前後のピークに変移していると考えられる。また、輝度レベルが小さいときに、各検出素子とも検出限度近くの観測値が集中する。したがって、観測対象の輝度が小さい場合の画像では、データの質が著しく低下する原因となっていると考えられる。

そこで、本研究においては上記の現象を改良する補正アルゴリズムを考案した。まず、一枚の画像をバッファに取り込み、データ全体をサーチして補正が必要な部分を検出し、その画素に対して、周囲の画素を参照し、各検出素子に加重平均して求めた適正值を代入する方法をとった。

補正の結果、異常であった値は適正化され、また元より正常だった値は変えずに処理できたことで、雲などの要素を崩さずに海岸線などの地形を明らかにすることができた。さらに、海氷観測に適用することでこの補正方法の有効性が確認され、特に高解像度の解析が必要な場合に有効であることがわかった。

# FDL 統合開発環境について

情報科学科 情報処理学講座

深澤 美香

ファジィ理論を応用したファジィシステムを構築するとき、どの言語でシステムを記述するかという問題が出てくる。ファジィシステムを記述するための標準化された言語がないからである。

今までに開発・提案されてきた様々なファジィシステムの記述言語は、各々のハードウェア専用開発された言語や様々な目的のもとに特色を持つ言語であり、そのベースとなる言語もC言語、アセンブリ言語など多様で、標準化された記述言語がないために他のシステムへの移植なども困難である。このような現状を打破するために、規格の統一されたファジィシステム記述言語としてFDL(Fuzzy systems Description Language)が提案された。FDLはファジィ理論を応用したシステム全般を記述することを目的とした言語であり、特にファジィ推論を行うプログラムを容易に記述できる。

一言でシステムの構築といっても様々な局面をもっており、大きくはシステムの仕様の決定、仕様にあわせたプログラミング、チューニングの3つに分けられる。このうちFDLによる記述が関わってくるのはプログラミングとチューニングである。これらは予想以上に手間がかかり、表で設定した制御規則や、グラフで定義したメンバーシップ関数をFDL特有の表記によってエディタ上でプログラムしていく必要がある。また、エディタ上ではファジィ推論の過程や結果がどのようになっているかを視覚的に確認することができないため、チューニング作業もさらに試行錯誤的になり時間がかかってしまうという問題がある。

このチューニングの作業では、手順通りに構成されたシステムを実験し、制御目的を考慮して制御規則の修正などを行う。また、メンバーシップ関数のパラメータを調整し、制御目的の評価基準を満足する結果が得られるまで繰り返してチューニングを行う。この際、制御過程や結果として出力される数値を確認しながら作業をすすめる必要があるが、それらの因果関係を視覚的・直感的に確認することはできない。この問題はエディタ上でプログラムを組み、コンソール上で実行させることが1つの大きな原因であることが明白であり、視覚的なプログラミングが可能ならば、手間のかかるチューニングも行いやすくなることが予想できる。

そこで本研究では、特に時間を要するチューニングに注目し、チューニング支援機能の1つとして最も基本かつ重要である、推論結果から制御規則をトレースする機能をもったFDL統合開発環境を提案する。チューニングにおいては状況から原因を推測することが重要であるが、困難なことでもある。そこでこの機能を利用すると、ユーザが指定した予想外の結果から、結果に大きな影響を与えたと思われる制御規則とそれに関係するメンバーシップ関数、推論過程を統合開発環境が提示する。そのため、ユーザは調整すべき箇所を、従来より早く見つけだすことが可能となる。これはチューニングに関しての大きな手助けであり、システム開発の時間短縮につながる。また、試作の統合開発環境を利用したシステム構築の評価を行い、その有効性を検証する。

# 擬人化エージェントを用いた知的学習支援システム

情報科学専攻 情報基礎学講座

越智愛里

従来, 知的学習支援システムの研究では, 高度個別学習を目的としたシステムの研究が中心であった. そのため, 知的学習支援システムで行われるコミュニケーションは, 学習者とシステム間のみであった. しかし, 「学習とは他者や外的世界との相互作用によって生じ, それとは不可分である」という視点から CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) やグループ学習のような複数の学習者による協調学習環境の研究の重要性が指摘されている. また, コンピュータを使用する環境が複雑になるにつれて, コンピュータに人間の行うべき判断をある程度委ねる必要性が生じてきた. そこで, 人間と情報世界のとの間を取り持つ情報的な存在として, エージェントが取り入れられるようになった. よって知的学習支援システムの開発でも, 学習者とシステム間だけではなく, 多者間でコミュニケーションを行う試みがなされている. しかし, エージェントを用いたシステムの多くは, エージェントを仲裁役として用いているものが多く, 学習者と積極的に対話を行うエージェントは少ない.

知的学習支援システムでは, システムと学習者間の主導権の交代をいかに行うかという問題が存在する. この問題を解決するためには, 従来の知的学習支援システムに, システムと学習者の仲裁役ではなく, 学習者とシステム間での円滑なコミュニケーションを促進するために, 第3者として学習者より問題解決能力の低い擬人化エージェントを組み込む方法が良いと考えられる. そこで本研究では, 協調学習の利点である, 教えることによる知識定着, 観察することによる知識獲得, およびエージェントの特徴である自律性に着目し, 擬人化エージェントを用いた知的学習支援システムの提案を行った. 本枠組みでは, エージェントと学習者間で直接対話を行わせる. エージェントを含んだ3者で学習を進めていくには, 3者の対話を途絶えさせることなく行わせる必要がある. そのため, システム, エージェント, および学習者の3者間の主導権交代を決定するアルゴリズムを考案した. また, 本アルゴリズムに基づきプロトタイプシステムを実装した.

本システムでは, エージェントを組み込むことで協調学習的環境を実現するだけでなく, 主導権交代をスムーズに行わせることを可能とした. また, グループウェアと違い相手が人間でないため, 時間や学習内容を相手に依存すること無く学習を行うことができる. それと同時に, 学習者がエージェントを教えることによる学習者の自己説明の活性化や, エージェントの振る舞いを観察することによる内省の促進を実現した.

# 複雑系のコンピューターシミュレーション

## — パーコレーションモデル —

情報科学専攻 情報基礎学講座 加藤 正剛

生物の発生や進化、人間社会の経済や政治変動などは、あまりに複雑すぎてこれまでの科学で取り扱うには困難であった。生命や社会など「生きている」システムは構成要素に分解して理解できない。なぜなら、同じ要素でも全体の文脈の中でそのふるまいが変化し、それによってまた全体が変化するという循環的な仕組みになっているからである。このような「生きている」システムを理解するために複雑系という新しい概念が注目されている。

パーコレーション(浸透)理論は、複雑なシステムのふるまいを空間的に粗視化して理解するためのアプローチである。パーコレーションの概念は、森林火災の広がり方、伝染病の蔓延など日常生活でのマクロな現象をはじめ、原子・分子や原子核などのミクロなレベルの現象にいたるまであらゆるスケールの現象において例を考えることができる。さらに自然現象に限らず例えば、噂の伝播やファッションの流行などもその例と考えることができ、つながりという概念が極めて普遍的なものであることがわかる。

一般に不規則に分布した要素間に何らかのものが伝達され得るときにそれらの要素間につながりが生じると考えるとつながりがパーコレートしているかどうかによってその分布を特徴づけることができる。また、つながり方の違いから系の性質の変化を理解することができる。従ってパーコレーションの重要なテーマの一つは系の性質変化の臨界点すなわち浸透閾値の決定である。

しかしながら現在ほとんどの2次元3次元の基本的な格子において理論的に厳密な浸透閾値は求められていない。シミュレーションにおいても、その具体的な概要が明確に示されておらず、最も単純な2次元正方格子(有界正方格子)のみが研究されているだけである。また、すべての格子について、有界格子でのみ研究が行われている。しかし有界な格子モデルでは、どうしても周囲の境界の影響が無視できず、必然的に無限に大きな格子によるシミュレーションが不可欠となる。これを避けるために、境界を持たない格子についての研究が重要な意味を持つてくる。ここでは、有界正方格子に加えて上下左右がつながっている正方トーラス格子の研究も行った。

本論文では、2次元正方格子サイド過程について有界正方格子ではノンスパニングクラスターと最大クラスター、また正方トーラス格子については最大クラスターに着目し浸透閾値の最確値をシミュレーションによって求めることに成功した。あわせて、後者の有用性を明らかにした。

近年、(有限体上で定義される)楕円曲線が、暗号理論に応用されている。  
楕円曲線とは方程式

$$E: Y^2 = X^3 + aX + b \quad a, b \in F \quad (F \text{ は有限体})$$

で表される代数曲線である。

これが暗号理論に応用されている理由は、楕円曲線暗号が他の公開鍵暗号系よりも計算しやすく、短い鍵に対して安全性を保つことができるためである。たとえば、*RSA* 暗号で十分な強度の鍵を得るためには、現在のところ 1024 ビット程度必要であるが、楕円曲線暗号だと 160 ビット程度の鍵で同程度の安全性が得られるといわれている。

本研究では、楕円曲線暗号を構築する際に、選んだ楕円曲線が安全かどうか確かめるときに必要な楕円曲線上の有理点の個数  $N (= \#E(F))$  を計算する *Schoof* のアルゴリズムを実装した。このアルゴリズムのアイデアは、フロベニウス写像を利用して充分たくさんの素数  $l$  に対して  $N \bmod l$  の値を特定し、中国剰余定理を用いて  $N$  の真の値を求めるものである。この際、 $l$  分点とフロベニウス写像を表現するために、 $F$  上の多項式の膨大な計算が必要となる。もし、 $N$  が小さな素因数を持つ場合、*Pohlig-Silver-Hellman* 法によって離散対数問題を解くことができってしまうため、求めた  $N$  が大きな素因数を持つかどうか確かめることによって、選んだ楕円曲線の安全性を確かめることができる。また、 $N$  は楕円曲線を用いた素数判定法にも利用できる。

$N$  の計算の実験に用いたプログラムでは、整数型では扱える数字に限界があるため、多倍長計算ライブラリを用いて大きな数字も扱えるようにし、さらに、計算途中で非常に大きな項数を持つ多項式を扱うため、多項式は配列を用いず項のリスト(線形リスト)で表現し、演算関数からすべて自作した。(多倍長計算ライブラリは非自作)

このプログラムで、法が 20000 程度の素数である楕円曲線の有理点の個数を計算するのにかかった時間は約 4 時間。30000 程度の場合は約 14 時間であった。

また、*Lenstra* のアルゴリズムによる、素因数分解法についての研究および実験も行った。実験に用いたプログラムは、*Schoof* のアルゴリズムと同じく、多倍長計算ライブラリを用いて作成した。

このアルゴリズムは確率的な因数分解法であるが、試行回数によって、非常に高い確率で因数分解ができるものである。実行速度は既存の因数分解アルゴリズムとほぼ変わらないものであるが、楕円曲線を使った因数分解法としては初めてのものであり、楕円曲線が因数分解に利用できることがわかったことで、今までと違う新しい因数分解の方法が見つかる可能性が出てきた。その意味では、画期的であるといえるだろう。

## ジュリア集合のマルチフラクタル解析

情報科学専攻 情報基礎学講座

泓田賢治

一般的に幾何学的図形や空間の次元として、整数のものが知られている。しかしフラクタル幾何学では、非整数の次元を定義することができる。非整数の次元はフラクタル次元と呼ばれ、それを有する図形はフラクタル(自己相似)と呼ばれる構造をもっている。その中には、構造が単純で全体に渡って一様なフラクタル構造、すなわち、フラクタル次元が唯一に定まるシングルフラクタル(*single-fractal*)と呼ばれるものがある。例えば、コッホ曲線(*Koch-curve*)やカントール集合(*Cantor-set*)等である。これらのフラクタル次元はそれぞれ、 $\log 4 / \log 3 = 1.26 \dots$ 、 $\log 2 / \log 3 = 0.63 \dots$ である。しかし、他方では大域的には均一なフラクタル構造を有していない、すなわち、局所的にフラクタル次元が異なるフラクタル図形、マルチフラクタル(*multi-fractal*)が存在することが知られている。例えば、マンデルブロ集合(*Mandelbrot's set*)等である。

本論文では、三次方程式  $Z^3 - 1 = 0$  をニュートン法で逐次近似して解く過程で複素平面上に現われるジュリア集合(*Julia-set*)について、一般化したフラクタル次元  $D_q$  [式(1)] を求めた。特に、容量次元  $D_0 = 1.4988 \pm 0.0012$ 、情報次元  $D_1 = 1.3727 \pm 0.0021$ 、相関次元  $D_2 = 1.2279 \pm 0.0078$  の各値を得た。また、大域的スペクトラム  $f(\alpha)$  [式(2), (3)] を求め、マルチフラクタル構造を明らかにした。



$$D_q = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{1}{q-1} \cdot \frac{\log \sum_i p_i^q}{\log r} \quad (1)$$

$$\alpha_q = \frac{1}{\log r} \cdot \frac{\sum_i p_i^q \log p_i}{\sum_i p_i^q} \quad (2)$$

$$f(\alpha_q) = \alpha_q - \frac{\log \sum_i p_i^q}{\log r} \quad (3)$$

# 知的語学学習支援のための誤り解析アルゴリズムの開発

情報科学専攻 情報基礎学講座

森 己 希 子

本論文では、計算機による知的語学学習支援を目的とし、中学レベルの英語を対象とした誤り解析アルゴリズムの開発について述べ、実装・実験を行うことによりアルゴリズムを評価する。

知的語学学習支援システムは高度個別学習の実現を目的としている。そのためには、誤りの可能性を含む入力文を解析・診断し、学習者の理解状態に応じた指導戦略を決定する必要がある。このように、誤り解析は重要な機能の一つであるが、既存のシステムの多くは学習者の入力に対して単純な正誤判断を行うのみで、あらかじめ用意されたヒントや解説を表示するにとどまっている。そこで、本研究では、語学学習支援システムへの利用を目的とした学習者の入力文の誤り解析に着目し、以下のような手順により誤り解析アルゴリズムの開発を行った。

1. **誤りの分類**：日本人が犯す英語の誤りに関する考察を行った。まず、全ての誤りを誤りの状態に着目することにより、「正書法の誤り」、「文字列生成の誤り」、「語句選択の誤り」、「語彙数の誤り」、「語順の誤り」の5種類に分類した。それらを更に、正解の語と誤りの語の関係に着目することによって細分化し、合計19種類の誤りに分類した。

2. **誤り解析手法の考察**：誤り解析手法の多くは、構文解析が困難となる部分を誤りとみなす方法が用いられている。しかし、語学学習支援システムで利用可能な誤り解析では、正文であっても設問の意図に反する誤りを含む場合なども考慮しなければならない。そこで、本研究では、学習者の入力文とあらかじめ用意した正解文を比較することにより、それらの相違点を誤りとして抽出する手法を用いる。これにより、文法的な誤り以外の誤りも抽出可能となる。

3. **誤り解析アルゴリズムの考案**：分類を行った全ての誤りを抽出可能なアルゴリズムの開発を目的とし、「単語列比較解析」、「英文表記作法解析」、「単語比較解析」、「語順解析」を考案した。解析の順序を考慮し、解析の途中で適宜、補正処理を行うことにより、学習者の入力文に複数の誤りが含まれている場合にも、一度の解析で誤りを抽出することが可能となる。

4. **誤り解析機構の試作・実験・考察**：以上の視点により、中学レベルの単文・語彙を扱うことが可能な誤り解析機構の試作を行った。実験データとして、参考書等の適格文を正解文とみなし、それに対する誤り文を作成すると共に、解析方法に関する知識を持たない者を対象に誤り文の作成を依頼した。また、誤文訂正問題等も活用した。これらの誤り文を解析し、結果が実際の誤りと一致する確率を求めた。これにより、解析の精度が明らかとなった。さらに、実験データの文に含まれる語彙数等と解析の精度との関連性について考察を行った。