

パターン理解的手法に基づく知能エージェントの情緒生起

徳 久 雅 人[†] 岡 田 直 之[†]

多様化する人工知能研究において、知性と感性の融合という大きな問題に取り組んでいる。本稿では、機械処理の観点から情緒生起をパターン理解の一環としてとらえ、従来から開発を進めている知能エージェント上に情緒生起のサブシステムを実現することを目指す。まず、準備として知能エージェントの心のモデルを概観する。次に、5、6歳の児童程度の情緒生起を対象として、喜び/悲しみなど8つの基本情緒についてその特徴を分析する。情緒生起に関する約1,000の事例を収集しつつ心理学の文献を参考しながら、170強の特徴を見い出して基本情緒の特徴をフレーム構造で表現した。次に、開発中の知能エージェントの上に情緒生起サブシステムを構築する。サブシステムは、分析によって得られた抽象的な特徴、換言するとある程度児童に一般的な特徴の抽出部と、知的処理系からデモンにより抽出する具象的な特徴、換言すると個人や知的システムに依存する特徴の抽出部からなる。次に、知能エージェントの情緒生起実験をコンピュータアニメーションとその背景音楽(BGM)をともなって行う。2つのシナリオに沿って実験した結果、要所要所において主人公の心理状態を反映したBGMが流れ、情緒サブシステムが良好に作動していることが確認できた。以上により、知性と感性の融合に新たな方式が提案できたものと考える。

A Pattern Comprehension Approach to Emotion Arousal of an Intelligent Agent

MASATO TOKUHISA[†] and NAOYUKI OKADA[†]

This paper aims for constructing an emotion arousal subsystem on an intelligent agent system under development, in which the process of emotion arousal is considered as a kind of feature extraction in pattern comprehension. First, the mind model of our intelligent agent is reviewed in advance to discuss the architecture of the emotion arousal subsystem. Next, features of eight primitive emotions, i.e. joy/sadness, are analyzed considering children at the lower grades of elementary school. Approximately 1,000 events involved in everyday episodes are collected to extract more than 170 conceptual features with eight frame structures. Following this analysis, an emotion arousal subsystem is built. It consists of two parts: one reflects the analysis, that is, contains abstract, frame-structured conceptual features common to children, and the other depends on individuals or intelligent systems, that is, contains concrete, practical "demons" to watch various kinds of events in the mind. Experiments accompanied by computer animation of the agent and music generation from aroused emotions are done along two scenarios, showing that the expected emotions well arose in the agent to be expressed by the music. Thus, our pattern comprehension method for emotion arousal could be expected to be useful for integrating machine intellect and emotions.

1. はじめに

人工知能(AI)の研究は、その対象分野が多様化と専門化を繰り返してきたといつても過言ではなかろう。1960年代初頭、Minsky¹⁾がAIのあり方を提案したころは、探索やパターン認識など5種類の研究項目が例示される程度であった。しかしながら多様化と専門化が進むにつれ、理論やシステムが局所化して、次第に知能全体の振舞いに対する見通しが不透明になって

きた。そろそろ従来の理論や技術を統合し、統合的知能システムを構築することも必要な時期にきているといえよう。

1980年代中頃同じく Minsky²⁾は、知能全体の振舞いを統合すべく「心の社会」理論を提唱した。Agentと呼ばれる心的単位を考え、ボトムアップ的に心の諸現象を解明しようとするものであるが、議論がやや抽象的であるため、現状ではインプリメンテーションとの間にかなりの隔たりがある。

我々も従来から統合的な知能エージェントの開発を目指し、「イソップワールド」プロジェクトを推進してきた。心の社会理論と異なるのは、トップダウン的に

[†] 九州工業大学情報工学部

Department of Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology

心理モデルを与え事例研究を通じてシステムの実現を意図している点である。具体的には5, 6歳の児童程度の知的ならびに情的機能を持つエージェントがある自然環境の中で認識、思考、情緒生起、行動、さらには対話する統合システムを構築しようとしている。イソップワールドシステムでは、次に示す知能の統合を意図している。

(1) 言語と心の結合

言語の深層構造と非言語的な心理活動の対応づけ

(2) 抽象的記号と具象的アナログ信号の結合

抽象的な記号表現による高レベルの心理活動と具象的なアナログ信号による低レベルの知覚や運動の対応づけ

(3) マルチメディアの統合

視覚（画像）や聴覚（音声）だけでなく、エージェントの運動もメディアの一種と見なした統合処理

(4) 知性と感性の融合

客観的な知識処理と主観的な情緒処理の融合

すでにワークステーション上にイソップ物語の主人公（きつね）を模したエージェントのパイロットシステムが作動しており、アニメーションおよび音声、音楽等をともなって、生理活動、プランニング、行動、および発話をを行っている。(1)については文献3)で、(2)については文献4)で、(3)については文献5), 6)で、それぞれ議論を行った。またこれらを支える知識の系については、文献7)で詳しく述べている。それらを受けて本稿は、上記(4)に注目し、知能エージェントに情的機能を持たせる問題に取り組んでいる。

情緒[☆]は心理学や認知科学において主要な研究課題の1つである。心理学では情緒のとらえ方に4種類の流れがあるという⁸⁾。第1はC. Darwinの進化論の流れで、感情もまた環境に順応し種の保存のため進化の過程を持つとする。第2はW. Jamesの生理心理学の流れで、身体的変化（自律的覚醒）が感情の生起に先行するとする。第3はW.B. Cannonの神経学の流れで、大脳の「視床」部分を情動の座と見なし、第2の流れと対立する。第4はS. Freudの精神分析学の流れで、ヒステリーは情感が形を変えて現れたものと考える。以上を先駆的な説として、その後の情緒研究

が展開している。

次に、機械処理の観点から認知科学における情緒研究に注目してみよう。Pfeiferら⁹⁾は、情緒生起の原因の1つとして目標に向かた処理過程での「割り込み」に注目し、意味ネットワークを用いるプロダクションシステムで情緒生起を実現した。Frijdaら¹⁰⁾は、情緒がシステムの関心事を具現化する機構（System's concern realization provision）であると考え、人と機械がインタラクションする知的システムに、ACRESという情緒プログラムを組み込んだ。また戸田¹¹⁾は「アージ」理論を提唱し、感情が与えられた状況において適切な動機が働くような先天的動機づけプログラムであると考え、対話システム「ねね」の構築に取り組んだ。

またAI（認知科学との間に明確な一線を画することは難しいが）において自然言語理解の分野では、対象テキスト自体が欲求、情緒、性格などに関わることが多く、それらに取り組む文献が見られる。Carbonell¹²⁾は、物語理解においては登場人物の個性の把握が必要と提案し、個性分析に基づいて探索空間におけるbest-first評価を行うことを考えた。Lehnert¹³⁾は、物語の構造において情緒的反応と情感状態が中枢をなすと考え、+ (please), - (displease), およびM (neutral)の3種類の情感状態を基本にして物語の要約を試みた。また岡田¹⁴⁾は、心理モデルに基づいて自然言語理解における情緒的機能の必要性を述べた。近時我が国では、辻ら¹⁵⁾により「感性情報処理」プロジェクトが推進され、感覚や知覚の処理に加え、次第に情緒への取組みも見られるようになってきた。

しかし従来の情緒処理は、単なるアイデアの提案にとどまつたり問題解決の一部として導入されたりすることが多く、情緒の系の組織的な把握および知識処理との統合的な取組みはあまり見られない。それに対し上記(4)の知性と感性の融合は、次の観点から情緒の系を組織的に把握することを狙っている。

(a) 生起過程と反応過程

エージェントが外的あるいは内的な刺激を受けたから情緒を生起するまでの過程を分析的に把握することと、それに基づいて反応を計画し実行するまでの過程を合成すること。

(b) 定性的と定量的

特に生起過程においては、どのような特徴を持つかという定性的側面と、どれほどの強さを持つかという定量的側面。

(c) 一般性と特殊性

外見上主観的で個人差の大きいと見られる情緒

[☆] 心理学では「情緒」「情動」「感情」など類似の用語が微妙な差異を持って用いられているが、本稿では、常識的に「与えられた刺激によって、身体的表出や行動をともなうような、急激で一時的な気持ちの変化」を対象として取り上げ、一部を除いて「情緒」の名称を用いる。

も、一般性のある部分と個別事情に基づく部分とに分けられる。

そこで本稿では、上記(a)に関し情緒の生起過程を「パターン理解における特徴抽出過程の一種」としてとらえ、すでに構築した知的処理系の上に情緒生起のサブシステムを組み込むことを目指す。そのため、5、6歳の児童程度の基本的な情緒の世界を対象として、(b)における定性的側面と(c)における一般的側面から詳しい調査を行う。

以上述べたように、本稿は統合的知能エージェントの構築を大きな目標に掲げ、AIの分野で立ち遅れている情緒の解明に組織的に取り組むものであり、かつパターン理解における特徴抽出という考え方を適用して、情緒の機械処理に新しいアプローチを図ろうとするものである。

2. 知能エージェントの概要

開発を進めてきたイソップワールドシステムにおける知能エージェントの概要を述べ^{3),4)}、4章以降で述べる情緒生起のアーキテクチャおよびアルゴリズムの準備とする。

2.1 エージェントのアーキテクチャ

本エージェントは、図1に示すような身体と心を持つ。身体部分は、目や耳などの知覚器と手足や口などの効果器を持ち、外界と接触する。心の部分は、その処理内容から7つの領域に分けられる。各領域は、次のように機能する：

知覚器で外界データを得ると、まず認識・理解領域でその内容を把握する。そして企画・創造領域でそれに反応するためのプランニングを行う。次にプラン実現のため行動・表現領域で具体的な動作を組み立て、最

後に効果器を用いて実行する。実行過程では認識・理解領域が変化する周囲をとらえ、行動にフィードバックをかける。以上は、主として知的処理に関する部分である。

知覚器は、渴きや飢えなど内界刺激も受理する。すると欲求・本能領域で「水が飲みたい」などの欲求が生起する。企画・創造領域では欲求を満たすべくプランニングがなされ、認識・理解と行動・表現領域では協調しながらプランに従って認識と行動が行われる。情緒・性格領域は、欲求・本能領域と類似の機能を持つ。特に本稿では、情緒や欲求の生起過程が「入力刺激を主観的に価値評価する過程」と見なし、知的処理における入力刺激の客観的解釈過程と相補的機能を持つものとして位置づけている。欲求と情緒の境界は明確でないが、より生存本能に近い部分を欲求と見なす。

記憶・学習領域では、過去の経験や事物のインスタンスを一時的知識として蓄積し、学習過程を経て概念形成を行う。言語領域は、各領域のデータや処理を記述する機能を持ち、この機能を通じて心の中を観察したり、高次の思考をまとめたり、さらには他とコミュニケーションしたりするものとしている。

2.2 モジュールと活性化連鎖

前節の各領域には、膨大な数の「モジュール」があるものと仮定している。ここで「モジュール」とは、MinskyのAgentに相当する単位的プログラム/データである。認識や行動などのモジュールは動的プログラム、一方、物概念や場所概念などのモジュールは静的データである。あるモジュールが1つの刺激で活性化すると、それに直接関連する他のモジュールも活性化する。さらにそれらと関連する他のモジュールが活性化し、活性化が伝播する。これを「活性化連鎖」と呼び、種々の心的過程の表現に用いる。

次に、具体例として生理メモリのうち渴きの値を更新する動的モジュールの主要部を示す。

```

渴きメモリ更新 (
  caseframe(
    [behavior,
      [更新する, [[agt, 渴きメモリ更新],
        [obj, 渴きの値]]]],
    [result,
      [変わる, [[sbj, 渴きの値], [oc,Thrst2]]]]),
  input([
    data_cell(action,physiology,movement,
              [Act,Spd,Tm,Ld]),
    data_cell(ext_world,physiology,air,
              [Tmp,Hmd])]]),

```

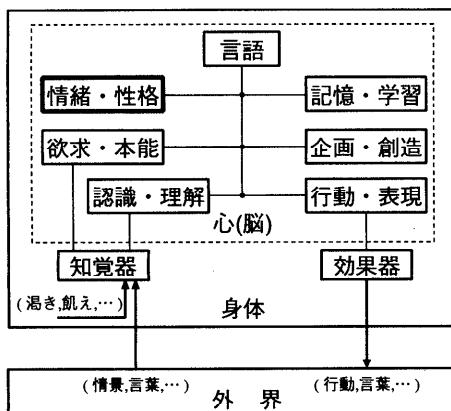


図1 知能エージェントのアーキテクチャ
Fig. 1 The architecture of our agent.

```

execution([
    read_thirst_memory(Thrstd),
    compute_thirst(Thrstd,[Act,Spd,Tm,Ld],
                  [Tmp,Hmd],Thrstd),
    write_in_thirst_memory(Thrstd)],
  output([
    data_cell(phy…, desire, 渴きの値, Thrstd),
    data_cell(phy…, language, casframe,
              [[更新する, [[tag, 渴きメモリ更新],
                [obj, 渴きの値]]],,
              [変わる, [[sbj, 渴きの値],[oc, Thrstd]]]]),
    - - -].

```

モジュールは、一般にフレーム表現されている。最初のスロット `casframe` には、本モジュールの処理内容 `behavior` と処理結果 `result` を記述するための述語（更新する、変わる）が深層格フレームで表現されている。特に `oc` は結果を示す格要素で、`Thrstd` には処理終了後更新した値が得られている。次のスロット `input` には、本モジュールの入力、換言するとモジュールが活性化するための条件が示されている。入出力のデータ形式は一般に

`data_cell`(発信小領域、受信小領域、情報名、内容) のように表現される。これにより 1 行目の `data_cell` は、行動小領域 `action` から生理小領域 `physiology` に向けて、`movement` という名称の行動情報が内容として動作名 `Act`、その速さ `Spd`、動作時間 `Tm`、および負荷 `Ld` をともなって発信されたことを表す。また 2 行目の `data_cell` は、外界領域 `ext_world` から気温 `Tmp` と湿度 `Hmd` の情報が発信されたことを表す。

次に、モジュールが活性化して `execution` の処理が始まる。まず `read_thirst_memory` がメモリから渴きの値を `Thrstd` に読み出す。次に `compute_thirst` が与えられたデータに基づいて新しい渴きの値を算出し、最後に `write_in_thirst_memory` がメモリの値を `Thrstd` に書き変える。以上が終了すると `output` では、欲求・本能領域 `desire` に生理変化を伝えたり、言語領域 `language` に振舞いを記述する深層格フレーム表現を発信する。

以上が渴きメモリ更新モジュールの概要である。渴きメモリの値がしきい値を超えると、これを監視している欲求・本能領域のモジュールが渴きの欲求を生起し、企画・創造領域のプランモジュールに対策を要請する。これを受けてプランニングが行われ、引き続き実行に移される。このようにして一連の活性化連鎖が生じる。

3. 基本情緒の分析

パターン理解における特徴抽出という観点を背景にして、基本的な情緒の生起過程に焦点を当て、組織的な分析を試みる。

3.1 基本情緒

情緒の系は複雑である。心理学においても、いずれの情緒を基本的とするかは意見が分かれる。進化論の流れを汲む Plutchik¹⁶⁾は、「多因子分析論」を提唱した。それによると、行動には 8 つの基本的行動次元があり、それぞれに「純粹情動」が対応する。純粹情動としては、「喜び (joy)/悲しみ (sadness), 受容 (accept)/嫌悪 (disgust), 驚き (surprise)/期待 (expectancy), および怒り (anger)/恐れ (fear)」という対極をなす 4 組、計 8 種類がある。そしてこれらの結合によって「混合情動」が合成され、複雑な情緒の系が構成されると考えた。この考え方は、パターン理解的アプローチを追求する本稿にとって好都合である。そこで、受容/嫌悪を「好ましい/嫌だ」と少し狭く解釈したうえで、これら 8 種類を基本情緒と見なして分析しよう。

3.2 エピソードデータ

1 章の (c) で述べたように、情緒の生起にはある程度一般性が見られる。つまり情緒に関して人々の間に共通の概念があるといえよう。一般に、概念は日常生活の経験から形成されるので、本稿では日常的なエピソードデータを分析に用いる。

イソップワールドでは、イソップ物語を参考していくつものシナリオを手作業で作成している。それらは 5、6 歳の児童のレベルを意識しており、日常生活における多くのエピソードデータを含んでいる。たとえば次のようなエピソードがある。

水汲みのエピソード

- (1) 朝起きたら、とても喉が渴いていた。
- (2) 水瓶の水を飲もうと思ったら、水瓶が空になっていた。
- (3) 住処から小川に水を汲みに行った。
- (4) 小川で水を飲んだら、冷たくておいしかった。
- (5) 水瓶一杯に水を汲んだ。
- (6) 帰りに、もうすぐ住処という辺りで転んだ。
- (7) 水瓶の水を半分ほどこぼしてしまった。
- (8) 悔しかったが、そのまま残りの水を持ち帰った。これによると、(4) の事象で喜びが、(7) の事象で悲しみが各々生起している可能性がある。また(7)に注目すると、必要な物を失い努力が無駄になったため、悔しい気持ちが生じている。このようにエピソードを観察すると情緒生起に結び付く事象やその原因となる

特徴を知る手がかりが得られる。そこで、このようなエピソードから得た約1,000個の事象を分析の対象とする。

3.3 分析過程

喜びを例にとって説明しよう。

3.3.1 ボトムアップによる分析

ステップ1 喜びの生起する事象をエピソードから集めて、類似した事象に分類する。

ステップ2 分類した事象から共通の特徴を見い出す。得られた特徴を最下位特徴(LLF; Lowest Level Feature)と呼ぶ。

ステップ3 LLFをいくつかまとめる上位の特徴を見い出す。

ステップ4 ステップ3を繰り返し、最後に最上位特徴(HLF; Highest Level Feature)にたどりつく。

たとえば、ステップ1において喜びを生起させる次のような事象がある。

- 喉の渇きを潤すために、ぶどう棚のぶどうを手に入れた。
- 空腹を満たすために、川で魚を捕まえた。

このクラスの場合、ステップ2において目標を実現するために必要な物を「獲得」した、というLLFを見い出せる。同様にして「思惑どおり」、「発見」、「立案」、「完遂」、「有効」、「同意」、「優越」などのLLFを見い出せる。次にステップ3において、思惑どおりや発見は必要な情報を収集できたので「情報収集」、また獲得、完遂および有効は目標を得るために実行結果なので「実行結果」という特徴をそれぞれ見い出せる。そして最後に「現状態が前状態よりも好都合である」というHLFにたどりつく。

こうして、喜びの階層的な特徴をエピソードから得られる。また他の基本情緒の特徴も同様に得られる。

3.3.2 トップダウンによる分析

ボトムアップ分析での事象は一般的な児童を想定して集めたものであるが、重要な事象を見逃しているかもしれない。そこで、心理学などの知見を参考にして、トップダウン的に欠落した特徴を補う。

Murray¹⁷⁾は、情緒を特殊な種類の動機と考え、その生起には飢餓などの身体変化がともなうこと、および学習による影響があることを述べた。換言すると生理的動機と心理的動機があるといえる。これを参考にして、HLFを大きく「生理的」と「心理的」の2つのの中位特徴に分ける。特に前者には、疲労などの内的なものと、かゆいなどの外的なものとの顕著な区分があるので、新たに「内的な快/不快」と「外的な快/不快」をLLFに導入する。しかし後者には、そのよう

な顕著な区分が見当たらない。1章で述べたPfeiferは、情緒生起の状況として目標実現の過程を重視している。また戸田¹⁸⁾によると、人間は集団を形成し、集団の統制は集団内の順位づけによって実現される。そこで中位の特徴として「目標実現」と「対人関係」を設け、前者をさらに、「目標設定」「情報収集」「計画」および「実行結果」に分ける。また後者は順位づけの有無により「優劣関係」と「仲間意識」に分ける。

以上のようにしてボトムアップ分析で得た階層的特徴を補正する。

3.4 分析結果

8つの基本情緒それぞれに関し、前節の方法で人手による分析を行った。その結果得られた喜び/悲しみにおけるLLFを表1に示す。また喜び/悲しみと怒りの階層的特徴をフレーム表現して、それぞれ図2、図3に示す。なお、図2の下線部は、トップダウン分析で補正された特徴である。

得られた特徴フレームによって、児童の基本情緒の世界はかなりの程度把握できていると考える。参考までにそれらのフレームは、123個のLLFと51個の中位ならびに上位特徴、合計174個で把握している。最上位の特徴として、喜び/悲しみや恐れなどの場合は常識的であるが、怒りの「規則や当然のことがらが守られていない」は、若干考察を要した。根源的には、動物社会の縄張り荒らしや人間社会の撃破りに対して生起する情緒としてとらえている。8種類いずれの特徴フレームも、大きく「生理的」と「心理的」に2分され、後者はさらに「目標実現」と「対人関係」に大別されている。これら以外のまとめ方もありえようが、試行錯誤の結果、最も整理された構造と判断したものである。

ここでPlutchikの分析と比較しておく。Plutchikは基本情緒のモデル化の際、色彩立体モデルを参照して8つの情緒がすべて対極となるように配列した。しかし、本稿の分析では、{怒り、恐れ}と{驚き、期待}が対極とはならなかった。この違いは、1つはPlutchikが情緒の行動過程に着目しているのに対し、本稿は情緒の生起過程に着目しているためと、もう1つは、Plutchikが情緒の空間を無理に色彩立体モデルに当てはめたためと考えられる。

4. 情緒生起のアルゴリズム

一般に主観的とされる情緒の系においても、客観的とされる知識の系と同様にアルゴリズムに従って処理の行われることを示す。

表 1 喜び/悲しみの LLF
Table 1 LLFs of joy-sadness.

LLF 名	意味
内的な快/不快	内的な生理状態が良く/悪くなった。
外的な快/不快	外的な生理状態が良く/悪くなった。
思惑どおり/思惑違い 発見/見落とし	目標実現に有効な物事が予測したとおり認識できた/できなかった。 目標実現に有効で自分の知らなかつた物事を認識した/目標実現に有効な物事が行動途中に存在していたことを後で知った。
判明/不明	目標実現に必要で不明な物事が、努力の末分かった/分からない。
立案/無計画	目標実現に有効な計画を生成できた/できなかった。
完遂/断念	努力して計画を実行し、目標を実現した/実現できずに諦めた。
獲得/喪失	目標実現に必要な物事を努力して手に入れた/なくした。
有効/無駄	目標実現への行動結果は、予測以上だった/効果がなかった。
同意/反対	仲間は自分の意見を受け入れた/なかった。
同感/反感	仲間はある事に対して自分に賛同的/反抗的な感情を持った。
協力/非協力	仲間は自分の目標実現のための行動を支援した/しなかった。
仲直り/仲たがい	不仲になった者と再び仲良くなつた/仲良しだつた者と不仲になつた。
優越/劣等	自分の能力を周囲の者より高く/低く自己評価した。
賞賛/非難	自分の能力は他者により高く/低く評価された。
服従/反抗	自分の下位の者が要求のとおりに行動した/しなかった。
保護/見放す	他者は自分を危険から守つた/他者は自分の危険を知りつつ何もしなかつた。
厚遇/冷遇	他者は自分の状態を配慮/無視した行為をとつた。

(喜び/悲しみ (現状態は前状態よりも好都合/不都合である (生理的 (内的な快/不快; 外的な快/不快); 心理的 (目標実現 (情報収集 (思惑どおり/思惑違い; 発見/見落とし; 判明/不明); 計画 (立案/無計画); 実行結果 (完遂/断念; 獲得/喪失; 有効/無駄)); 對人関係 (仲間意識 (同意/反対; 同感/反感; 協力/非協力; 仲直り/仲たがい); 優劣関係 (優越/劣等; 賞賛/非難; 服従/反抗; 保護/見放す; 厚遇/冷遇)); その他)))

図 2 喜び/悲しみの特徴フレーム
Fig. 2 joy/sadness-frame.

4.1 情緒生起サブシステム

前章で調べたように、情緒生起にはある程度一般性がある。たとえば、欲しい物を「獲得」したり人から「賞賛」されたりすると、一般に喜びを感じる。この共通性が情緒の概念化を支えており、その意味で図2や図3は、情緒の概念構造を与えてることになる。しかし情緒生起は個人差が大きいこともまた事実で、たとえば、短気な人、涙もろい人などの性格づけは典型的な例である。この点に配慮した情緒生起のサブシステムを図4に示そう。

全体的に見ると、情緒・性格領域の基本情緒は、直接的に自身の領域を、また間接的に知覚器や企画・創造領域など他の領域を監視している。情緒・性格領域

(怒り (規則や当然のことがらが守れていない (生理的 (内的な不快; 外的な不快); 心理的 (目標実現 (目標設定 (強制); 情報収集 (嘘); 実行結果 (失敗; 姦害; ずる)); 對人関係 (仲間意識 (反対; 反感; 仲間はずれ; 脱退; 暴露; 責任逃れ; 責任転嫁); 優劣関係 (非難; 反抗; 無礼; 不平等)); その他)))

図 3 怒りの特徴フレーム
Fig. 3 anger-frame.

には、前章の分析で得た下位から上位の階層を維持して特徴フレームを配列し、システムに概念構造を与える。すなわち、情緒における一般性をこの部分で実現しようとするものである。また最下位特徴 LLF は、さらに下位レベルのモジュールを「デモン」として他領域に配置し、そこでの種々の出来事を監視している。これは個人差や、その他構築する知的システムの特殊性に備えようとするものである。

AIの立場からは、図4のサブシステムの特に情緒・性格領域の部分と、LLF に持たせた表1の意味内容が重要である。基本情緒の概念構造は、情緒の系における基本体系を実現しているとともに、6.2節で議論するように、情緒生起に基づく反応を推論するうえで大切な役割を果たす。また表1の意味内容は、LLF 抽出に必要な知識を定義しており、種々変化に富む現実世界の入力刺激からどのような知識に基づいて各 LLF

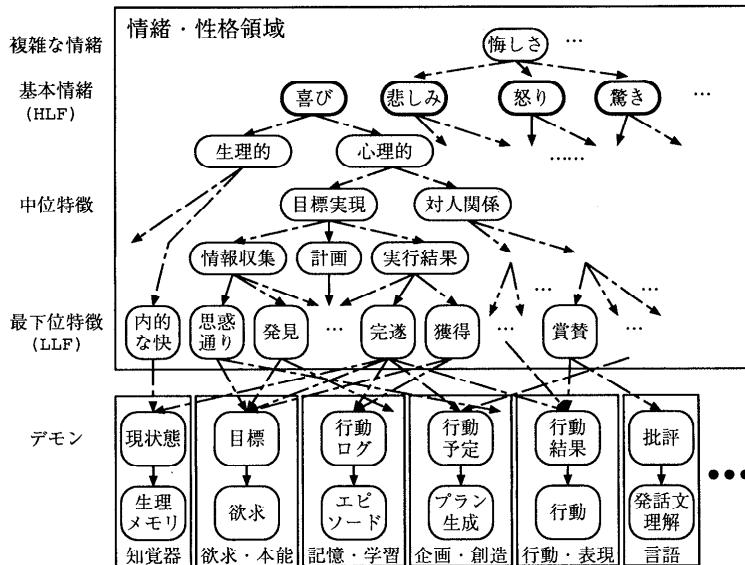


図4 情緒生起サブシステム
Fig. 4 The emotion arousal subsystem.

を抽出すればよいかの目標を与えている。

知能エージェントは、外界情報を認識したり、プランニングしたり、行動したり、言語活動したりする。それらにともなって生理メモリの変化や、プラン実行の途中経過および結果、あるいは言語領域における情報の獲得など、さまざまなモジュールが連鎖的に活性化する。LLF モジュールは、各領域に配置したデモンを通じてそれらの情報を獲得し、最終的に HLF すなわち基本情緒モジュールを活性化させて情緒を生起させる。

すでに述べたように、イソップワールドでは児童の世界の寓話にちなんだ知能エージェントの構築を意図しており、プランニングやそれとともに認識、行動ならびに言語活動の知的システムが実際に作動している。この知的システムの上に心理的、物理的活動を監視するデモンを作成した。表2は、作成したデモンの一部である。次節でその処理を議論する。

4.2 特徴抽出アルゴリズム

紙面の都合で2つの LLF モジュールと関連デモンによる特徴抽出を例示する。

4.2.1 内的な快モジュールとそのデモン

イソップワールドにおける内的な快は、「渴き/空腹/疲労のいずれかにより、生理状態が良くなつた」と表1の定義より限定したものになっている。これについては、2.2節で示した生理メモリを監視することにより、以下のように改善状況を知ることができる。

表2 下位特徴抽出デモンの配置（一部）

Table 2 The location of demons (a part).

領域名	配置デモン名
知覚器	(内的/外的生理メモリ)の現状態、前状態
認識・理解	認識結果、状態変化、予測、相手行動、相手感情
行動・表現	行動結果、動作内容
欲求・本能	目標、目標変化
企画・創造	プラン要求、プランニング結果、必要物、行動予定
情緒・性格	恐怖生起、恐怖解消、感情、(仲間意識)の現状態、前状態
記憶・学習	疑問、知識獲得、行動ログ、認識ログ
言語	要求、提案、批評、存在情報

```

    内的な快 (
    caseframe([ - - - ]),
    input([
        data_cell(physiology,emotion,
                  前状態, [Thrst1,Hng1,Ftg1]),
        data_cell(physiology,emotion,
                  現状態, [Thrst2,Hng2,Ftg2]))),
    execution([
        check_pleasure_thirst(Thrst1,Thrst2);
        check_pleasure_hunger(Hng1,Hng2);
        check_pleasure_fatigue(Ftg1,Ftg2)]),
    output([
        data_cell(emotion,emotion, 内的な快,
                  [[Thrst1,Thrst2],[Hng1,Hng2], [...] ]]),
        - - - ]).
    input では、生理メモリのデモンから渴き Thrst,
  
```

空腹 Hng、および疲労 Ftg の現状態と前状態を受信する。execution では、まず、check_pleasure_thirstにおいて、渴きについて Thrst1 と Thrst2 (2.2 節参照) を比較して状態が改善されているかを調べ、空腹と疲労についても同様に調べる。3 つのいずれかが成立すると、output で、内的な快の成立と 3 組の状態値を上位モジュールに発信する。

ここで個人差の問題に触れておく。渴きメモリ更新モジュールでの compute_thirst では、現在次の計算式を用いている。

$$\begin{aligned} Thrst2 = & Thrst1 + a1\Delta T + b1Spd \\ & + c1Ld + d1(Tmp/(Hmd + e1)) \end{aligned} \quad (1)$$

第 2 項は時間経過による自然な渴き、第 3 項は運動量 (特に移動量)、第 4 項は負荷そして第 5 項は外界状況に依存する増加量である。また $a1$, $b1$, $c1$, $d1$ そして $e1$ はそれぞれの係数 (または定数) である。「飲む」という動作が行われると式(1)は初期化され、満たされた量に応じて初期値が決まる。

このように実際の処理過程では、いくつもの係数や定数が存在し、これらの定め方が個人差を形成する大きな要因の 1 つである。このことは情緒・性格領域内の特徴フレームについてもいえ、下位特徴に対する重み付けを考えると、基本情緒の生起の傾向は大きく変わってくる。

4.2.2 完遂モジュールとそのデモン

完遂は表 1 で「努力して計画を実行し、目標を実現した」と定義されている。これを抽出する完遂抽出モジュールの主要部を以下に示す。

```
完遂(
  caseframe([ - - - ]),
  input([
    data_cell(desire, emotion, 目標, Goal),
    data_cell(plan, emo..., 行動予定, [PPL, FS]),
    data_cell(action, emo..., 行動結果,
              [T1, T2, Act, SF]),
    data_cell(memory, emo..., 行動ログ, Log),
    data_cell(cognition, emo..., 認識結果, Cg),
    data_cell(physiology, emo..., 現状態, CS)]),
  execution([
    check_goal_and_plan(Goal, [PPL, FS]),
    check_action_and_cognition(
      [T1, T2, Act, SF], Cg, FS),
    compute_effort(Log, T1, T2, Ef)]),
  output([
```

```
  data_cell(emotion, emotion, 完遂,
            [Goal, FS, Cg, CS, Ef])]),
  - - - ).
```

input において、1 行目では欲求に基づく目標 Goal を欲求・本能領域のデモンから受信する。2 行目では、プランニングに基づく動作列 PPL とその最終状態 FS を企画・創造領域のデモンから受信する。3 行目では、行動結果として行動の開始時刻 T1、終了時刻 T2、最終動作 Act、および動作の成否 SF を、また 4 行目では行動記録 Log をそれぞれ受信する。また 5 行目では、行動終了時の外界/内界の状況、たとえば、移動の結果目的地にいるか/渴きメモリの値は改善されているかなどを受信する。

execution においては、まず check_goal_and_plan により Goal としての最終状態が FS で実現されるかをチェックする。次に check_action_and_cognition により実際に行動して到達した状態が FS と一致するかをチェックする。最後に compute_effort により Log を用いるなどして要した努力の量 (現在は疲労度) Ef を計算する。

これらすべてが満たされると、output より「完遂」の成立と参照情報が上位モジュールに発信される。

5. 情緒生起の実験

図 1 で示した知能エージェントの上に図 4 で示した情緒生起のサブシステムを組み込み、情緒生起の実験を行った。

5.1 実験環境

イソップワールドでは、現在の所知覚器や効果器などを備えたロボットが実現されていない。そこでエージェントを実世界で動作させることができないので、外界シミュレータ¹⁹⁾上でエージェントを動かして情緒生起の実験をした。周辺サブシステムとして、エージェントの受理する視界をアニメーション表示するサブシステム、エージェントの発話を音声出力するサブシステム、そして生起した情緒に基づいてアニメーションの BGM を自動生成するサブシステム⁶⁾が構築されている。これら周辺サブシステムと情緒サブシステムおよびエージェントのメインシステムは、Sun SS20×2, IRIS Crimson, Sun SS5 のワークステーションと音楽演奏用の MIDI の上に、SICStus Prolog および C 言語を用いてインプリメントされている。

5.2 実験

現在イソップワールドシステムは開発途上にある。メインシステムは図 1 で示した各領域ごとに開発が進められ、頻繁に改善がなされている。各サブシステ

ムについても同様で、すべてのシステムを総合してシミュレーションするにはまだ困難がある。そこで以下の2段階に分けて実験を進めた。

5.2.1 「マイクロ・イソップワールド」版

エージェントの情緒生起に焦点を当て、「喜び/悲しみ」のプログラムを組み込んだ「マイクロ・イソップワールド」を作成した。喉の渴いた主人公（きつね）が水を飲むため住処から池1に行くことを企画する。プランに沿って移動すると、池1には水がない。プランを修正し池2に行くと、そこには水があり渴きを潤すことができた、というシナリオである。

生理メモリの初期値は、喉の渴きが少々あり、飢えと疲れは正常値である。プランに沿って池1に着くと、期待していた水がなく、渴きもかなりひどくなっている。そこで、池1で水を飲む目標を「断念」することと、渴きによる「内的な不快」が原因で、「悲しみ」が生じた。再プランにより池2に行くと、水があった。十分潤した結果、目標の「完遂」と「内的な快」により大きな「喜び」が生じた。しかし疲れがかなりひどくなり、「内的な不快」による「悲しみ」も生じた。

以上的情緒生起は、ピアノ曲の上に表現された。すなわち、情緒変化のないときは単調な音楽が流れ、悲しみが生起すると次第に重くゆっくりした曲に、また喜びが生起すると軽快でリズミカルな曲に変わった。

5.2.2 「きつねとぶどう」版

マイクロ・イソップワールド版に比べて、エージェントの諸機能、特にプランニング機能を強化し、他の6つの基本情緒も加えた。そして、イソップ物語の「きつねとぶどう」に沿ったシナリオで実験を行った。喉の渴いたきつねが館に行って池の水を飲むことを企画し、館に忍び込むが池がない。庭の片隅にぶどう棚を発見し、何度も飛びつくが失敗し、悔しさのあまり「やい、ぶどう。お前は酸っぱいから食べてやらないぞ!」と負け惜しみを言う(cry sour grapes)。ただしシステムの持つ推論規則、概念データ、エピソードデータなどは、まだシナリオ全体にわたって完備しておらず、とりあえず館にたどりつくまでを実験した。以下は、言語領域が心理的、物理的状態を独り言として述べた文である：

とても暑い日だ。今、交差点から300m手前の獣道にいる。とても喉が渴いている。喉の渴きを潤したい。早く潤したい。危険なことをせずに潤したい。水を探して飲もうかなあ。もし周りに水があれば、それを飲もう。水がない。今、野原にいる。住処に帰ろうかな。住処は遠いので、住処に帰るのはやめた。橋の下に行こうかなあ。橋の下は遠いので、橋の下に行くのはやめた。---

水のある場所を探そうかなあ。池を探そうかなあ。池3があった。池3の近くには獵師小屋があった。獵師小屋には獵師がいるだろう。獵師は危険なので、池3に行くのはやめた。---

水分の多い食べ物を食べようかなあ。果物を探して食べようかなあ。いちごを食べようかなあ。いちごは春に実った。今夏である。いちごはないので、いちごを食べるのやめた。---

この後、館の池に行って水を飲むプランが候補にあがるが、危険性が高いためいったん棄却される。しかし最終的にはこのプランが採用され、交差点を経て、館に向かって移動する。図5にきつねが館に到着したときのシステムの様子を示す。

以上の過程において、たとえば、館の正面に到着した時点で、移動が「完遂」できた「喜び」、最終目標が実現できそうな「成り行き」による「期待」、また人間に会う危険のあることから「注意事項」による「恐れ」が生じた。これらにより予測される情緒の生起を確認することができた。

なお、システムには多くのLLF抽出デモンが組み込まれているにもかかわらず、この実験では動作しないものも多くあった。これは、「きつねとぶどう」のシナリオがプランニングなど知的処理を中心に考えたものであることと、情緒生起はシナリオ後半の館の中で多く見られることによるものである。したがって、この実験では情緒を中心に考えたマイクロ版ほど顕著な生起には至らなかったので、活性化しなかった情緒モジュールについては別途データを与え、個別にモジュールの動作確認を行った。これにより、シナリオ次第で状況に応じた情緒の生起が期待できる。

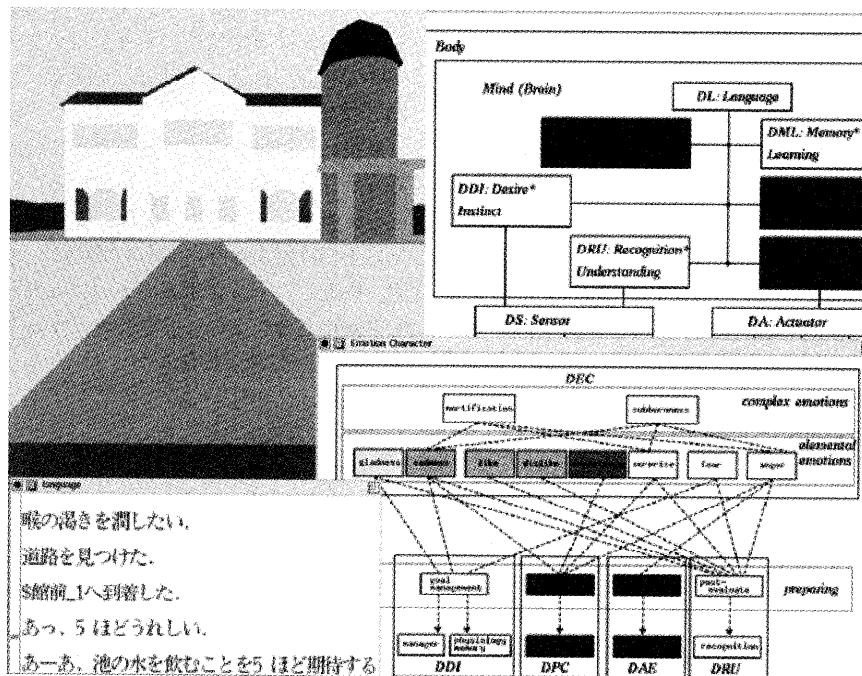
以上により、図4に示した情緒サブシステムが、特徴モジュール群とLLF抽出デモン群によりパターン理解における特徴抽出として情緒を生起させることができ一応確認できた。

6. 検討

情緒サブシステムについて、応用と今後の課題について述べる。

6.1 応用

5章でも述べたように、別途、音楽の自動演奏システムが作成されている⁶⁾。マイクロ・イソップワールドをビデオ編集し多くの大学生や高校生に呈示したところ、池1できつねが水を飲むことができずBGMが悲しい調子に変化したときに、笑い声やざわめきが聞かれた。そこで応用として、まずゲームにおいて利用者の得点や操作から特徴を推論するなどして、BGMや



左上は知覚器が受理した館の正面画像、左下は独り言の文章表現、右上は心の領域の活性化状況、そして右下は情緒生起の状況を示す各ウインドウ。なお文章表現に沿って合成音声と、情緒生起に基づく音楽が出力されている。

図5 「きつねとぶどう」の1画面
Fig. 5 A Snapshot of fox and grapes.

音響に反映させることができると考えられる。さらにアニメーションをともなう物語朗読システムや語学の知的CAIなどにおいて物語の主人公や教材の中の人物の情緒を反映するBGMの付加は、利用者に興味を持たせたり、やる気を持たせる機能の一部として役立つであろう。また近時、人に優しいヒューマンインターフェースとして擬人化エージェントに注目が集まっているが、インタラクションの過程で利用者の心理状態を推論しそれに応じてエージェントの発話音声を対応させることができれば、より人に近いエージェントが期待できよう。

特に本システムの特徴の1つは、情緒・性格領域が児童のレベルで一般性のあるアーキテクチャになっており、情緒機能を付加する知的システムに依存しない点である。さらにLLF抽出モジュールはデモンで実現しており、原則的に既存のシステムを犯すことなくその上に構築できるので、応用の幅が広い。

6.2 今後の課題

次の4つの観点から議論しよう。

- (1) 生起に対する反応
- (2) 情緒の強さ
- (3) 曖昧性と葛藤
- (4) 複雑な情緒

(1) 生起に対する反応

初めに、生起した情緒に基づく反応について考察しておく。一般に、生起過程が複雑であるように、反応過程もまた複雑である。たとえば、「悲しい」ときには「涙を流す」などの生理的反応に加えて、「うち沈む」などの心理的反応、さらには「親しい人に慰めてもらう」など他の人への働きかけなど多くの可能性がある。情緒の系の中でも、とりわけ生起と反応の結び付きは重要である。

これに関連して知識の系を参考にすると、知識、特に概念間の結び付きの把握には、しばしば階層関係が用いられる。いま「生物」「動物」「植物」「鳥」および「魚」という概念が

生物(動物(鳥, 魚), 植物)

のように、上位の意味内容を下位が継承しつつ階層をなしているとする。このとき、たとえば、「育つ」の主体として「生物」が結合可能ならば、それより下位の概念はすべて結合可能である。一方、たとえば「動く」の動作主として「植物」が結合不可ならば、それより上位の概念はすべて結合不可である。自然言語理解などでは、このようにして概念間の結合を効率的に推論している。

3章の図2と図3で、情緒の特徴を階層でとらえた。この階層では上位の意味内容を下位が継承している。もし情緒の生起のみに注目するなら、入力刺激からLLFの内容さえ抽出できれば（上位の特徴の内容はその一部であるため）自動的にLLFより上位、最終的にはHLFとしての基本情緒を生起させることができる。しかし、種々の情緒がどのような反応と結び付くかを組織的に把握するには、知識の系における階層にならって、図2や図3のように生起における特徴を階層化しておくことが大切である。このように生起の側の概念の整理、分類と、他方では起こりうる反応の側の概念の整理、分類とにより、生起に基づく反応を効率的に推論することが期待できよう。

（2）情緒の強さ

本稿では、情緒の定性的側面に的を絞り、定量的側面、すなわち情緒の強さについてはあまり議論しなかった。強さは、個性や主体性を持ったエージェントの構築には不可欠な要因である。戸田¹⁸⁾は強さの決定の3要素として主観価値、自信、および余裕時間をあげている。特に主観価値に注目すると、2.2節で示した生理メモリの値や、4.2節で示した完遂の努力量や達成状態の評価値が、その大きさを与えるだろう。本稿では、渴きなどの生理値ならびに情緒の強さを10段階で粗く評価し、関連する数値データ、たとえば4.2.1項の式(1)の係数や定数などは10段階評価を睨みつつ、試行錯誤的に求めている。これらの算出はまだ十分な考察が行われていないので、今後の課題となる。

（3）曖昧性と葛藤

次に、実際の情緒処理においては、曖昧性と葛藤の処理が重要となる。前者は、1つの入力刺激から相異なるLLFが抽出され、複数の情緒生起の可能性が生じる場合である。このときいずれの情緒を生起させるべきかは状況に依存する。したがって、新たに状況判断に対する知識の導入が必要となる。AIにおいて曖昧性解消は一般に困難な課題であるが、局所的な制約条件や大局的な発見的手法を用いてこれを解決することが期待できよう。一方後者については、相異なる入力刺激により複数の情緒が生起し相互にもつれて、いずれに対して反応すべきかの選択を要する場合である。これを解消するための優先順位の導入には、2つの観点がありうる。1つは先駆的で、たとえばもし喜びよりも恐れが生命に大きな影響を与えるなら、恐れの方を優先する。もう1つは情緒の強さで、たとえば大きな喜びと小さな驚きが同時に生起した場合、大きな喜びを優先する。2つの観点は矛盾する結果をもたらすことも起こりうるので、そのかねあいが課題である。な

お一方が他方を抑止する機構としては、「交差的排除」すなわち異なる情緒間にネガティブフィードバックをかけて相互に抑制する²⁾なども参考にできよう。

（4）複雑な情緒

最後に、複雑な情緒はどのように合成されるのであろうか。「きつねとぶどう」における「悔しい」を例にとって考察しよう。主人公は、これなら届きそうだと見当をつけ、ぶどうにジャンプする。あと1歩で届かず、繰返しジャンプする。ついには失敗に終わり、悔しさが生じる。このことを参考にすると、次のようなスクリプトが考えられる：

悔しい
1つの目標を立てる,
(目標に向けてプランを立てる, (実現の可能性大, [期待])),
(プランに沿って実行する, (あと一息で失敗, ([驚き],[悲しみ])),
(繰返し実行する, (多大の努力による疲労, [悲しみ])),
(放棄を決断する, (当然のことができない,
([怒り],[驚き],[悲しみ])),
すぐに忘れられない)
([] 内は、基本情緒)

複雑な情緒は、このような概念分析を通して1つずつ解明していくことが必要ではなかろうか。

7. おわりに

知能の統合化という大きな目標を背景にして、情緒の生起過程の機械処理について議論した。まず、Plutchikの示した純粹情動を参考にし、5、6歳の児童の基本情緒の世界を組織的に分析した。その結果、喜び、怒り、など8種類の特徴フレームと、123個の最下位特徴を得た。次に、情緒の生起はパターン理解における特徴抽出の一環という観点から、情緒サブシステムのアーキテクチャを提案した。このアーキテクチャは、次の特徴を持つ。

- 一般性の高い、特徴フレームを構成するモジュールは情緒・性格領域に配置し、個人や分野に依存しないものとする。
- それに対し最下位特徴を抽出する小さなモジュールは、個人や分野さらにはシステムに依存するとして、既存のシステムの上にデモンとして配置する。

本情緒システムをイソップワールドプロジェクトで開発中の知能エージェントの上にインプリメントした。

実験によって、パターン理解としての特徴抽出が行われ、知性と感性の融合が一応確認できた。また、応用として情緒を入力とする音楽自動演奏についても述べた。

以上により、既存の知的システムと矛盾することなくそれを支援し拡張するのに有効な情緒サブシステムが構築でき、知性と感性の融合に1つの新しい方式が提案できたものと考える。

謝辞 音楽生成に関してご指導願った本学中村順一教授、アニメーションに協力願った乃万司助教授、情緒の分析およびプログラミングに協力された本学知能工学研究室のメンバ、とりわけ吉田太輔君[☆]に感謝する。

参考文献

- 1) Minsky, M.: Steps toward Artificial Intelligence, *Computers and Thought*, Feigenbaum, E.A. and Feldman, J. (Eds.), pp.406-450, McGraw-Hill (1963).
- 2) Minsky, M.: *The Society of Mind*, Simon and Schuster (1985).
- 3) Okada, N. and Endo, T.: Story Generation Based on Dynamics of the Mind, *Computational Intelligence*, Vol.8, No.1, pp.123-160 (1992).
- 4) Okada, N.: Integrating Vision, Motion and Language through Mind, *Artificial Intelligence Review*, Vol.10, pp.209-234 (1996).
- 5) Baba, H., Noma, T. and Okada, N.: Visualization of Temporal and Spatial Information in Natural Language Descriptions, *IEICE Trans. Information and Systems*, Vol.E7-D, No.5, pp.591-599 (1996).
- 6) Nakamura, J., et al.: Automatic Background Music Generation Based on Actors' Mood and Motions, *The Journal of Visualization and Computer Animation*, Vol.5, pp.247-264 (1994).
- 7) 岡田直之: 語の概念の表現と蓄積, 電子情報通信学会(1991).
- 8) 藤永保識(編): 心理学事典, 平凡社(1981).
- 9) Pfeifer, R. and Nicholas, D.: Toward Computational Model of Emotion, *Progress in Artificial Intelligence*, Steels, L. and Cambell, J.A. (Eds.), pp.184-192, Willis Horwood, Chichester (1985).
- 10) Frijda, N.H. and Swagerman, J.: Can Computer Feel? Theory and Design of an Emotional System, *Cognition and Emotion*, Vol.1, No.3, pp.235-257 (1987).
- 11) 戸田正直: 心をもった機械—ソフトウェアとしての「感情」システム, ダイヤモンド社(1987).
- 12) Carbonell, J.G.: Towards a Process Model of Human Personality Traits, *Artificial Intelligence*, Vol.15, pp.49-74 (1980).
- 13) Lchnert, W.G.: Plot Unit and Narrative Summarization, *Cognitive Science*, Vol.4, pp.293-331 (1981).
- 14) 岡田直之: 自然言語理解には情緒的機能も必要, 電子情報通信学会誌, Vol.70, No.9, pp.897-902 (1987).
- 15) 辻三郎(編): 感性情報処理の情報学・心理学的研究, 文部省科学研究費補助金重点領域研究平成6年度成果報告書(1995).
- 16) Plutchik, R.: The Multifactor-Analytic Theory of Emotion, *The Journal of Psychology*, Vol.50, pp.153-171 (1960).
- 17) Murray, E.J.: *Motivation and Emotion*, Prentice-Hall (1964).
- 18) 戸田正直: 感情—人を動かしている適応プログラム, 東京大学出版会(1992).
- 19) 徳久雅人, 岡田直之: “イソップワールド”における実験支援システムの構築, 平成7年度電気関係学会九州支部連合大会論文集, p.795 (1995).

(平成9年4月28日受付)

(平成10年6月5日採録)



徳久 雅人(正会員)

1995年九州工業大学大学院情報工学研究科博士前期課程修了。現在同大学情報工学部助手。人工知能の研究に従事。電子情報通信学会会員。



岡田 直之(正会員)

1964年東海大学工学部卒業。1966年九州大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同工学部助手、1976年大分大学工学部助教授、1978年同教授を経て、現在九州工业大学情報工学部教授。工学博士。人工知能の研究に従事。電子情報通信学会、人工知能学会、言語処理学会各会員。

[☆] 現在NEC勤務。