

第3章

心理機能：

情緒，記憶および言語



セーヌの滞船

本章では，第2章に引き続き計算論の立場で心の基本機能のうち情緒，記憶および言語の要点を述べる．

3.1 情緒

人は感情的になり気持ちが昂ると理性的な判断ができなくなることがまある．そのため情緒は，論理的な推考と異なる様式で心が機能しているのではないかと考えられがちである．しかし計算論の立場からは，特に情緒を区別する理由が見当たらないので，以下ではこの立場で議論を進めよう．

3.1.1 基本と複合

情緒のとらえ方はいろいろで，厳密な定義が難しい．本書では次のようにとらえる：

情緒とは，与えられた刺激を受理して心理的ならびに生理的に興奮状態となり，その状態に特有な物理的あるいは心理的反応をすることである．

進化論の流れをくむプルチックは，情緒を大きく基本的なものと複合的なものとに分けた[26]．そのためまず次のような仮説を立てた：

仮説

1. 少数の純粹／基本情緒がある．
2. その他の情緒は基本情緒を複合して得られる．
3. 基本情緒は生理学上も行動上も互いに異なる．
4. 純粹な形において基本情緒は，種々の証拠から推察可能な極限状態である¹．
5. 基本情緒は，対極にある二つの情緒で概念化される．

¹ 現実に生起する多くの情緒は，他と混合するなどして，純粹でないという．

6. 各情緒は生起の強さ／レベルの度合いが異なる。

その上で基本情緒として，[喜び：悲しみ]，[受容：嫌悪]，[驚き：期待]，および[怒り：恐れ]の八つ／4組を示した．これらは，取り込み，保護，破壊，繁殖といった動物の原型的な行動パターンに基づいているという．

次に，複合的な情緒の生起を悔しいを例にして示そう．

悔しい(

目標の設定(期待)，

立案(実現の可能性大)，

実行(後一步で失敗，(驚き，悲しみ))，

反復して実行(多大の努力による疲労，悲しみ)，

放棄(予測との大きな差，(悲しみ，驚き，怒り))，

余韻の継続)

ここで大きな文字は，関連する基本情緒を示している．悔しいは，実現の可能性の大きな目標が成就しなかったとき生起する．可能性が大きいほど，また努力の量が大きいほど，悔しさは強まる．結果として，ふがない自分が腹立たしく，無念の思いが尾を引く．なおいくつもの基本情緒から構成される複雑な情緒については，概念全般の観点から5章の心のデータで詳しく述べる．

3.1.2 生起，推考および反応

与えられた刺激に対し情緒が生起し，刺激の内容を推考し，最後に情緒に応じて反応するまでを観察しよう．

➤ 生起

この過程は大きく認識と喚起の，二つに分かれる．世界遺産の知床半島で運悪く熊に出会ったばあい为例に取ろう．まず“熊だ！”という認識がなされる．2.2節の認識で述べたように外形的な特徴に注目して記憶している画像データとの照合がなされる．熊とわかれば，同時にどう猛な動物，という常識も記憶から取り出されよう．すると，自分より足が早そうか，距離関係はどうかなども認識の必要が生じる．熊が認識されると，それに基づいて気持ちが動転し心が昂る．襲われる，さらには殺されるなど恐れが喚起する．相手の足が早く距離が近いほど，恐れの強さは大きい．

情緒の生起には，一般に無意識のうちに生理状態の変化を伴う．強い恐れの場合には，まず交感神経系が興奮して心臓がドキドキし始める．そのため血圧が上昇して

血の巡りが良くなる。副腎がアドレナリンなどのホルモンを分泌し、血液中に糖分が作り出される。この糖分は物理的行動のエネルギー源になる。このような生理状態の変化が心の昂りと協調して情緒を生起させる。認識と喚起の段階はかならずしも直列的ではなく、並列的な場合も珍しくない。その際部分的であれ認識が先行しない限り、喚起のしようがない。

➤ 推考

身に危険が迫ったからには、当然回避しなければならない。この種の危険に対し次のような IF-THEN 規則を知識として持っているとしよう：

危険回避の IF-THEN 規則

- (1) 熊に出会ったら、死んだフリをする。
- (2) 豹に出会ったら、木に登ってはいけない。
- (3) どう猛な動物に出会ったら、一目散で逃げる。
- (4) どう猛な動物に出会ったら、車の中に逃げ込む。
- (5) どう猛な動物に出会ったら、武器で戦う。

まず思い浮かぶのは(1)であるが、本当に大丈夫か不安がよぎる。(2)はここでは該当しない。次は(3)であるが、すでにどう猛な動物と確認されているので、相手が自分より素早く動けるかどうか依存する。(4)は、サファリのような所を車に乗って移動中なら該当するが、知床の散歩道では無理である。(5)は、銃や槍のような武器が条件である。それらをもっていなければ、太い棒や杖でも素手で立ち向かうより有効である。身の周りに棒または杖があるか探す。短時間でこれらをチェックし、最善の反応を探さなければならない。

➤ 反応

推考の結果に基づいて反応する。もし(3)が選ばれているのであれば、それに沿って一目散で逃げる。反応には、刺激に応じて大きく二つの傾向がある。一つは刺激が快く受け入れられるばあい、その刺激を維持、促進させる方向で反応する。もう一つは逆で、刺激が不快なため、それを回避する方向で反応する。具体的な行動には 2.4 節の行動で述べたように、状況に応じて四つのタイプがある。また物理的反応は伴わず、心の中で思い悩むなど心理的にのみ反応するばあいもある。

3.1.3 情緒の特質

1.1 節の歴史で述べたように、かつて情緒は論理的な推考の立場から“雑音”の扱いを受けた。その理由には、三つの要因がある。

- ・ 第1は、気持ちの昂りが正常な心の働きを阻害する点である。興奮状態では、簡単な認識や単純な推論ができなかつたりして、適切な反応が導けなくなる。
- ・ 第2は、しばしば短時間に反応を求められ、十分な判断ができないことである。因果の連鎖をいくつもたどるなど深い推論をしたのでは、急を要する反応には不具合である。そのため規則や関連データの検索がおろそかになりがちである。
- ・ 第3は、生理的変化が正常な物理動作を阻害する点である。訓練を積み重ねたはずのスポーツ選手がオリンピックのような大舞台で緊張の余り生理状態まで微妙な影響を受け、十分力の発揮できない例をしばしば見受ける。

にもかかわらず情緒のもたらす人間性は、常識として人間社会に不可欠な構成要素である。草枕にも記されているように理屈ばかりでは窮屈である。温かみのある、やさしい態度や性格は、周囲に潤いをもたらす。このような人の生き様は、文学の世界では永遠の課題と聞いている。

3.1.4 欲求

情緒と類似しているが、情緒とは少し異なる欲求について述べよう。次の欲求は良く知られている。

- ・ 生理的
飲む欲求，食欲，呼吸欲，排せつ欲，睡眠欲，休息欲，性欲，他

- ・ 心理的
安全の欲求，闘争欲，親和欲，優越欲，獲得欲，支配欲，達成欲，他

人の生体には体温や血液成分などを一定状態に保とうとする性質が働く。例えば、血液中の塩分の濃度が一定の値より高くなると、水分の不足により喉が渇く。脳がそれを察知すると水分を補給する行動を促し、これが飲む欲求となる。このような生理機能はホメオスタシスと呼ばれ、人の生存に不可欠である。マズローは欲求に関し五つのレベルからなる階層を提唱した[7]。

- ・ 生理的レベル
階層の基礎にあるのは上に述べた生理的欲求である。
- ・ 安全レベル
生理的欲求が満たされると、次に危険を回避したり家族の安全を維持したりする欲求が現れる。
- ・ 愛と帰属レベル
次に、友人、恋人同士あるいは家族の間の愛や、所属している社会に受け入れ

られているという帰属の欲求が生じる。

- ・ 尊厳レベル

次に、社会から尊敬に値すると認められる、あるいは社会に尊敬に値すること示そうとする欲求が生じる。

- ・ 自己実現レベル

最後に、創造や問題解決など自己の目標を実現する欲求が来る。

この階層に従うと、上で示した優越欲、獲得欲あるいは支配欲は、尊厳のレベルにおいてそれぞれ能力、所有、権力の面で社会に自己の存在感を示そうとする欲求と言えよう。

以上述べたように、種々の欲求は深く掘り下げるとホメオスタシスという生命現象にたどりつく。欲求は人の行動を促す点で情緒と類似しているが、特に生理的欲求の場合生存に関わるほど強く生理と結びついている点で、結びつきの弱い情緒とは異なる。

3.2 記憶

人は体験したり見聞したりしたことを知識として心にとどめる。幾度となく類似の内容を体験／見聞すると、次第に概念が形成される。一時的な知識は比較的短期に忘れ去ることが多いが、形成概念は長期にわたって記憶にとどまる。

3.2.1 知識と概念形成

エピソードと知識

人があるときあるところで体験するまとまりのあるできごとは、その人のエピソードと呼ばれる。エピソードには、“夏休みに家族で10日間ヨーロッパ旅行した”のような大きなものから、“学校の帰りに歩道で転んだ”のような小さなものまで、様々である。例としてヨーロッパ旅行を取り上げよう。帰国後のアルバム作りを観察すると、記憶の構造がよく理解できる。おそらくアルバムの表題は“ヨーロッパ旅行”，内容として大項目は訪れた都市，すなわちパリ，ミラノ，バルセロナ，それにロンドンであろう。パリについての中項目は，初日と第2日目の観光で，初日は午前中がルーブル美術館，午後がノートルダム寺院とセーヌ河畔，それに夜がカルチェ・ラタンのレストランでのフランス料理，ということかもしれない。すると，次のようなフレーム表現が浮かび上がる：

ヨーロッパ旅行(

パリ(初日(午前(ルーブル美術館),
午後(ノートルダム寺院, セーヌ河畔),
夜(フランス料理)),

第2日(---)),

ミラノ(---),

バルセロナ(---),

ロンドン(---))

スナップ写真やビデオに残したような印象の強い画像データ, 例えばセーヌ川の白鳥の散歩道の画像データは, *セーヌ河畔*の下位項目に埋め込まれている。

小学校の低学年の頃までは直接的な体験を通じて多くの知識を獲得する。直接体験に基づく知識や概念は種々の知識の基本になる。2.2節で述べた基本的な物, 事象, 属性などは, この頃に概念が形成される。もちろん成人になっても直接体験に基づく知識の獲得は続く。しかし, 小学校に入る頃から言葉を通じての知識の獲得が多くなる。学校での教師の説明, あるいはテキストの文章などを通じて種々の知識を得る。成人になると, 新聞やTVなどのマスコミ, スマートフォンによる友達とのコミュニケーション, あるいは地球規模のインターネットなどを通じての知識の獲得が圧倒的に多くなる。このような事情からも, 文章表現と記憶の表現形式の間の変換処理は重要である。ちなみに, 先に示したヨーロッパ旅行のフレーム表現を文章に変換すると, 例えば次の文章が得られる:

夏休みに家族でヨーロッパ旅行をしました。最初はパリに行きました。パリでは, 初日の午前にルーブル美術館を見学しました。午後にはノートルダム寺院を見学し, セーヌ河畔を散策しました。夜はレストランでフランス料理を頂きました。次の日は……。次はミラノを訪れました。……次はバルセロナを訪れました。……最後はロンドンに行きました。……

概念形成：学習

エピソードを種々体験する過程で, ある特定の部分, すなわち物体, 事象, あるいは属性に注目し, それらの概念を形成する。

➤ 一般化と特殊化

例えば, 幼児が母親からミルクの入った黄色いカップを与えられると, 幼児はその事例がカップだと思ふ。次に姉が青いカップでミルクを飲むのを見て, 青色もあ

ることを知る。さらに父親がカップでコーヒーを飲むのを見て、飲み物はミルクに限らないことを学ぶ。そしてついには、

カップ（特徴（形は円筒状で、取っ手がある、

色は黄、青など様々、

ミルク、コーヒーなどの飲み物を飲む）

という概念を形成するであろう。このようにいくつもの事例から共通の特徴を見つけクラスを構成する心理過程は、一般化と呼ばれる。

それに対しすでに形成した概念が新しい事例の出現により再編を求められることがある。飲み物用容器（この時点では名称不明）に関し、新たにガラス製の器でコーラを飲む事例に出会い、名称もガラスだと知ったとする。すると飲み物用容器にはカップとグラスという下位クラスがあり、グラスに固有の特徴として取っ手が無い、ガラス製で透明、などを見出すであろう。その結果全体を次のように再編するかもしれない：

飲物用容器（

共通特徴（形は円筒状、

色は黄、青など様々）、

下位クラス（

カップ（個別特徴（取っ手がある））

グラス（個別特徴（取っ手はない、

ガラス製で透明））））

このようにいったん形成した概念を相異なる特徴に注目して細分類する心理過程は、特殊化と呼ばれる。

データとアルゴリズムの立場から学習をとらえると、日々多くのことを体験／見聞するのでやみくもに記憶を続けるとメモリーがあふれる。そのため聞き流したり、一度は記憶しても忘れてたりする。また大量のデータをバラバラに放置しておく場所を取り、必要なとき検索に手間がかかる。そのため一般化において共通の特徴に注目してクラスを構成し、また特殊化において異なる特徴に注目して下位クラスを構成する。このように階層化したりタグ（クラス名）をつけたりして検索を容易にする。学習はデータの整理分類作業とも言える。

➤ 指導する教師

学習の効果は指導する教師に大きく影響を受ける。指導方法には大きく3通りがある：

- (1) 教師がすべて教える.
- (2) 教師が要点だけを教える.
- (3) 教師は何も教えない(教師がいない).

先に述べた学習では母親が教師である。(1)のやり方では母親が“カップはこれこれしかしか”とその特徴をすべて教える。この場合は学習過程がなく、いきなりカップの知識を獲得する。効率は良いが、学習過程における種々の教訓が得られない。(2)では、母親が折をみて要点を助言する。例えばカップを与えるときに“これはカップですよ”とか、初めてグラスを体験して紛らわしいとき“これはカップではありませんよ”などである。この場合、基本的には自力で一般化や特殊化を行う。しかし重要な判断に母親の助言があり、このやり方だと学習に伴う教訓と学習の効率がほどほどのバランスを保てる。(3)は、母親が全く関与しないばあいである。当然一般化も特殊化もすべて自力で行う。しかし、どのような時点あるいは状況で一般化や特殊化を行えばよいのであろう。新しい事例に出会ったときすでに形成した概念で判断あるいは処理できるなら、一般化がさらに進む。それに対し矛盾やその他の不具合が生じると、特殊化の必要が生じる。例えば、いったん、グラスもカップと考えて概念を形成したとする。あるとき正しい名称はグラスであるにもかかわらず、“そのカップを取って!”という依頼に相手がげげんな顔をする、グラスはカップでないことに気づく。ここで正しい名称を尋ねるなどして、特殊化が行われる。また動作の場合は、試行してその結果を自ら判断し不具合ならやり直す、というように特殊化が進む。

3.2.2 記憶の種類

いくつかの観点から記憶の種類を述べよう。

➤ 短期記憶と長期記憶

知識を保持する時間の観点から短期記憶と長期記憶がある。短期記憶は、文字通り短い時間保持される記憶で、その幅については2秒から数分までの諸説があるようである。それに対し長期記憶は、忘れることもあるが、長期に保持される記憶で、形成概念などを含む。前者に関しては1.2節の認知科学で述べたように、記憶できる項目数に限界があり、 7 ± 2 である。ただし項目の内容に工夫をすると短期記憶の容量を増やせることはミラーが実験で証明した通りである。なお、知識を習得／獲得する時間の観点から瞬時記憶と呼ばれるものがある。学習は通常一定の時間／期間を必要とするが、一度しかない経験を瞬時に記憶するのが、瞬時記憶である。

瞬時記憶は、経時的に変化せず、タイプ1の認知行動などで重要とされている[14].

➤ エピソード記憶と意味記憶

概念形成の有無によってエピソード記憶と意味記憶とがある。認知科学辞典[27]によると、次のように説明されている：

- ・ エピソード記憶

記憶の一種で、自己の経験として思い出すことのできる記憶をいう。“昨夜はカレーライスを食べた”“子どものとき、ハワイへ行った”“10年前のクリスマスの日に、インドで大地震があった”のような記憶で、特定化された場所や時間の意識を伴う記憶である。……

- ・ 意味記憶

記憶の一種で、世界に関する知識の記憶をいう。言葉の意味、物の名前や概念、様々な法則や原則など、すべて意味記憶である。……

エピソード記憶は事例をそのまま知識として記憶したもの、意味記憶は概念形成過程を伴う記憶である。ここでエピソードという用語に関して補足しておく。Episodeは、挿話という訳語の示すとおり、本来物語の中に挿入される、まとまりのある小話のことである。しかし上記辞典の説明では、ある人にまつわる特定のできごとという側面が重視されている。本書でエピソードと呼ぶばあいは、“まとまりのある特定のできごと”を指す。

➤ 専用記憶と一般記憶

データとアルゴリズムの観点から専用記憶と一般記憶の区分がある。ある特定の処理に向けたメモリーを専用記憶と呼び、一方個々の処理に限らない一般向けのメモリーを一般記憶と呼ぶ。多くの場合、専用記憶は小規模で、一つのプログラムがメモリーを抱え込んでいる。それに対して一般記憶は大規模で、種々のプログラムがメモリーを共同利用する。専用記憶に関して、短期記憶と深く結びついた作業記憶がある。これは、処理の過程で一時的に保持される記憶である。例えば足し算の際ケタ上がりが出るが、それを一時的に保持する場合などである。

3.2.3 データの表現と探索

表現形式

データをどのように表現するかは、情報処理の効率に大きく影響する。心の科学でよく用いられる表現形式をいくつか述べよう。

➤ 属性リスト

最も素朴な形式で、2.2節の物や事象の認識において概念的特徴を列挙したが、

そのような特徴のリストを指す。“属性”という用語が広い意味で用いられており、オブジェクトの特徴を表すものは、すべて属性である。

➤ 述語論理式

論理学において命題論理と述語論理という部門がある。例えば“人は死ぬ”のような真か偽か、すなわち正しいか正しくないかを判定できる文は命題と呼ばれる。それに対し“ x は y より大きい”のように変数を含む文は、具体的に x と y の値が与えられないと真偽を判定できない。このように変数を含む文であって、具体的な値が定まると命題になるものは、述語と呼ばれる。そして命題や述語を IF-THEN(\rightarrow) や AND(\wedge) など論理的関係で結びつけた式が論理式である。例えば、 a , b , および c をそれぞれ命題とすると、 $(a \wedge b) \rightarrow c$ は論理式である。

述語論理式の場合は少し複雑である。次の文の意味を厳密にとらえよう。

S2 鳥は飛ぶ。

この文は二通りに解釈できる：

S3 鳥でありかつ飛ぶことのできるオブジェクトが、少なくとも一羽いる。

S4 すべてのオブジェクトについて、鳥であるなら飛ぶことができる。

対象とするオブジェクトを変数 x や y で表し、また“ x は鳥である”や“ x は飛ぶ”のような性質や動作を述語としてそれぞれ $bird(x)$, $fly(x)$ と表そう。さらに、数量を示すため“少なくとも一つの x ”を $\exists x$, また“すべての x ”を $\forall x$ のように表す。これらにより、S3 と S4 をそれぞれ述語論理式で表現すると次のようになる：

S3' $\exists x((bird(x) \wedge fly(x)))$

S4' $\forall x((bird(x) \rightarrow fly(x)))$

論理式は、文の意味を論理的に正確にとらえるだけでなく、少数の真なる論理式から出発して種々の真なる論理式を推論で導くことができる。そのため、推考において重要な表現形式となっている。

➤ 意味ネットワーク

後に 5.2 節で雲に関する概念ネットワークを示すが、意味あるいは概念のデータを表す節／ノードを矢印のついた線／ポインタで結ぶ、ということを繰り返し、それによって張り巡らされるネットワークのことである。このネットワークは一般に閉じた線すなわちループを含む。節とポインタにいろいろな性質を割り付けることによって、種々のタイプの関係が表現できる。キリアンによって提唱された、意味記憶を表現するための形式で、操作が単純で見る人の直感に訴えるため理解しやすい[28]。ちなみに、2.3 節で立案木を導入したが、木はループのない、特殊なネッ

トワークである。

➤ フレーム表現

いくつかの項目を()でくくり、それを一つの項目として他の項目とともに()でくくる、ということを繰り返すフレーム表現については、すでに2.2節の認識で導入済である。意味ネットワーク表現は、節から出て行くポインタをスロットと見なすと、フレーム表現も可能である。ネットワーク表現では節やポインタごとの細かい性質を添え書きすると直感的理解を妨げてしまうが、フレーム表現ではそれらも受け入れる。その他3.3節の言語で述べる暗黙値の手法など、フレーム表現は豊かな表現能力をもつ。本書では心全体を統一的にとらえるのはフレーム表現と考えているが、木や意味ネットワークにも理解を容易にする優れた面があるので、便宜的にそれらを使い分ける。

➤ 宣言と手続き

プログラミングの観点から宣言と手続きの表現形式がある。前者は、記号や文を書き連ねた静的な表現、また後者は、プログラムあるいはアルゴリズムによる動的な表現を指す。後者について少し補足しよう。例えば伝統工芸の木工職人のもつ知識は、鋸のこぎりをひく、かんなで削るなどの技能と直結した部分が多々ある。この種の知識は、プログラムとして習得し記憶されるもので、簡単な記号や短い文では表現しにくいものである。

宣言と手続きは、AIの初期の研究段階で大いに議論された。表現形式の良し悪しがプログラミングあるいは処理効率に大きく影響するため、種々のプログラミング言語が工夫された。しかし、一見明白な、データとしての宣言知識とプログラムとしての手続き知識の相違が、プログラム技術の進歩により曖昧になった。例えば3.1節の情緒で述べたIF-THEN規則は宣言的知識と言える。しかしPrologと呼ばれるプログラミング言語を用いると、それらを少し述語論理式風に調整することにより、そのまま処理プログラムにもなり得るのである。このように宣言と手続きの境界は定かではなくなったが、表現の形式がアルゴリズムに影響することは間違いない。

探索方式

蓄積したデータを記憶場所から取り出す作業について述べよう。この取り出し作業は一般に検索と呼ばれる。特にデータが木構造やネットワークでつながっているとき、それをたどって探し求める作業は探索と呼ばれる。探索には大きく、深さ優先と幅優先の手順があり、図3.1のそれぞれ(a)と(b)に順番を示している。同図(a)の深さ優先は、左側から縦方向を優先的に、また(b)の幅優先は横方向を優先的に探索する。深さ優先は直列的な探索であるが、幅優先は番号が暗示するように、

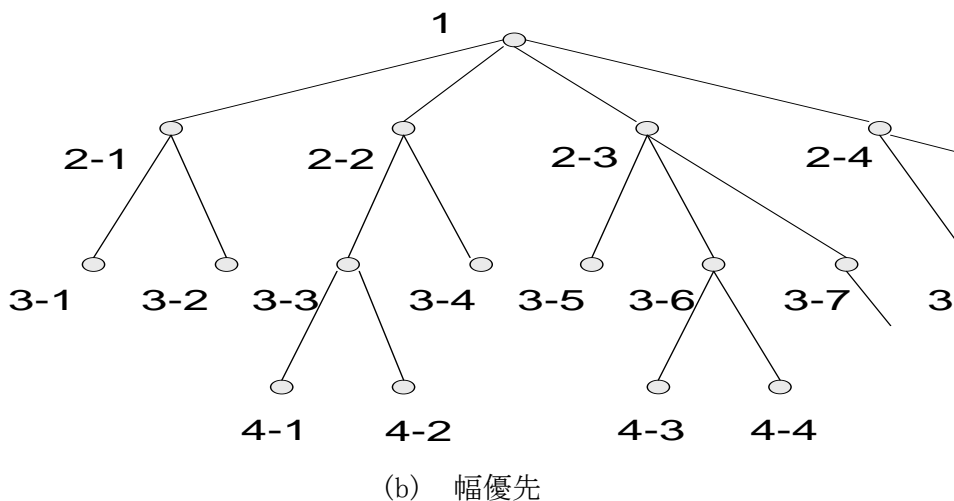
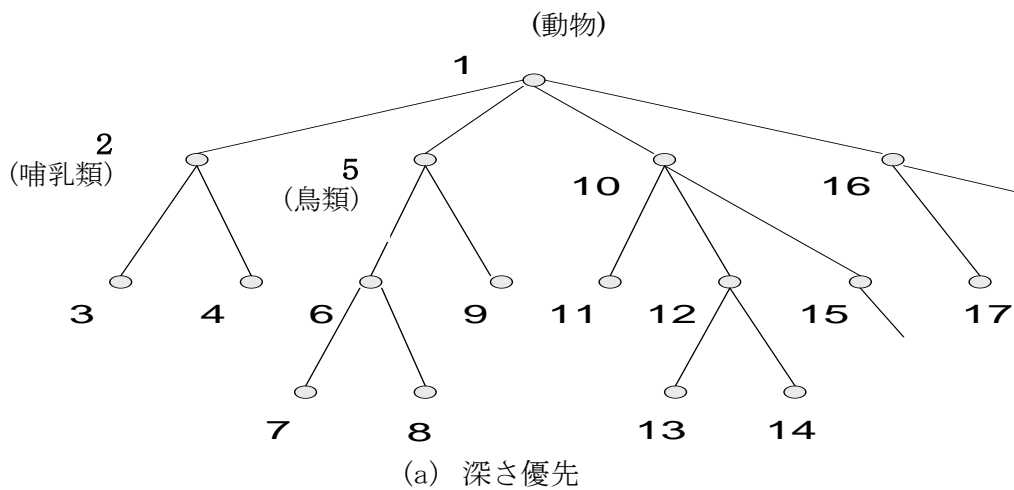


図 3.1 探索の方式

各レベルで並列的に探索することも可能である。

以上に対して種々の仕掛けにより探索効率を上げる。例えば(a)が動物に関するデータの集合とし、節1, 2, 5にそれぞれ動物, 哺乳類, 鳥類などのラベル(タグ)を貼り付ける。タグ付きの節にはデータを格納せず、データはすべて葉の中に格納する。いま、求めるデータとして桜を探索するばあいは、1のタグを調べるだけで、それ以下はすべて動物とわかり、無関係なデータとなる。一方かもめの場合、1によって該当する可能性のあることがわかる。そこでかりに深さ優先でたどるとして、まず2を調べると該当しない。3, 4は調べるまでもなく5にスキップする。5は条件を満たすので、さらに深く6を調べる。すなわち深さ優先の原則を守るが、ある節でラベルが条件を満たさなければ、その節の兄弟へ、兄弟がいなければ伯父

へ、というように枝を遡る，すなわちバックトラックする．網羅的に調べるばあい
に比べ，大きく効率の上がるのが理解できよう．

最後に，記憶と学習という用語にふれておく．記憶も学習も，ともに知識を得る
という基本的な機能に注目している．この機能に関し，記憶は“知識を心にとどめ
る”側面，一方学習は“経験を通じて習得する”側面に注目している．用語を“記
憶”に統一しているのは，あくまでも基本機能を重視するもので，学習の側面を軽
んじる意味では決してない．実際 4.1 節の神経生理と 8.3 節の今後の課題では，深
層学習と呼ばれる手法の特質を考察する．

3.3 言語

言語は，人類が永年にわたって自然発生的に形成したものである．文法のように
規則的な体系も含むが，意味の世界はあまり体系的でなく，種々のデータがゆるや
かに結びついている．以下ではその機能を紐解こう．

3.3.1 文法

文法は，単語と単語の間の結びつきをとらえる規則の体系である．

単語間の結びつき

結びつきのとらえ方に大きく二つの観点がある．次の文を例にとろう：

S5 時間は矢のように飛んでいく

S6 Time flies like an arrow

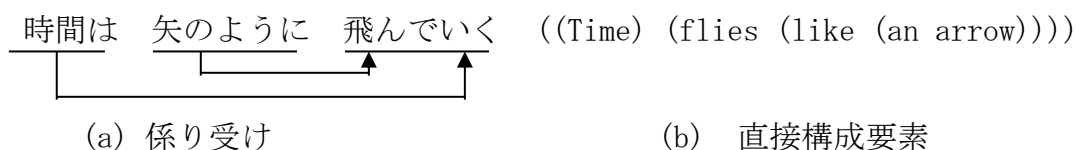


図 3.2 語句の間の結びつき

S6 の英文は通常，日本語の“光陰矢の如し”という諺に訳されるが，ここでは説明
の都合で S5 を用いている．図 3.2 にそれぞれの文の，語句間の結びつき方を示す．

(a) は語句の間の係り受け(支配従属)の関係をとらえている．*時間*はと*矢のように*
がそれぞれ*飛んでいく*に係り，逆に*飛んでいく*はそれぞれを受けている．一方(b)
は，語句のまとまりに注目している．Time は単独で，また an と arrow は二つまと

まってそれぞれ名詞句(Noun Phrase)を構成する．さらに flies と (like (an arrow))は flies (like (an arrow)) という．動詞句(Verb Phrase)を構成し，最後に(Time)とともに全体の文(Sentence)を構成する．(a)は，わが国でも古くから用いられてきた係り受けの文法で，中学や高校の国文法として取り上げられている．また(b)は直接構成要素と呼ばれるとらえ方で，わが国の英文法教科書でも取り入れられている．

直接構成要素による S6 の文構造を図 3.3 の(a)と(b)に，それぞれフレームと木で表現している．両図において，例えば Sentence, Noun Phrase, Verb Phraseなどをそれぞれ S, NP, VP のように簡略表現している．

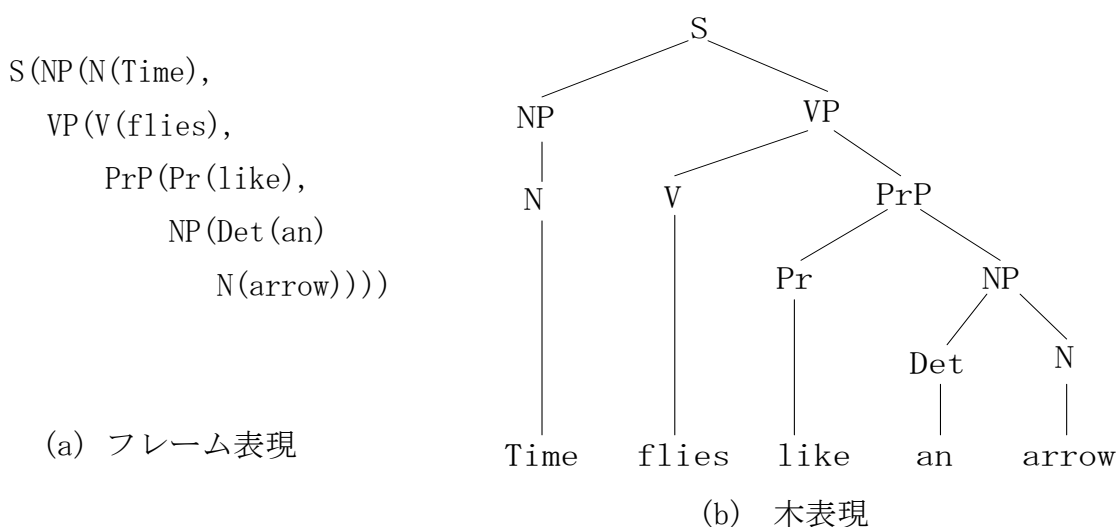


図 3.3 表現形式

チョムスキーは，直接構成要素のとらえ方を発展させ，句構造文法を提唱した [29]．句構造文法では， $X \rightarrow Y$ の形をした書き換え規則が基本である．これは“X という記号があれば Y に書き換えよ”という操作を意味する．図 3.3(a)の S(NP, VP) は， $S \rightarrow NP VP$ という書き換え規則に対応している．S6 に関しては以下の書き換え規則の集合 R が関係している．

$$R = \{S \rightarrow NP VP, NP \rightarrow N, VP \rightarrow V PrP, Prp \rightarrow Pr NP, NP \rightarrow Det N, N \rightarrow Time, V \rightarrow flies, Pr \rightarrow like, Det \rightarrow an, N \rightarrow arrow \}$$

図 3.4(b)のように，S から始まって次々に書き換え規則が適用され文が生成される．ちなみに次の文は，意味上変則的であるが，句構造文法上は正しい．

S7 an arrow is like Time.

文法的に正しい文の集合は句構造言語と呼ばれる。

言語の無限性

日本語にしても英語にしても、文の数は有限ではなく、無数にある。このことを考えるまえに、まず文の長さの無限性を調べよう。かりにギネスブックに登録される世界最長の文があるとしよう。するとその文の一つの単語を別の単語に代えて、二つの文を“あるいは”で結ぶと、これもまた文になる。したがって、文の長さがある有限の長さにとどめることは不可能である。

先に述べた集合 R の、規則 $NP \rightarrow NP PrP$ に注目しよう。ある NP にこの規則を 1 回適用すると $NP PrP$ が得られ、その NP にもう 1 回適用すると $NP PrP PrP$ が得られる。これを繰り返すと、次々に新しい句が生成できる。

	NP	Time
1 回	NP PrP	Time like an arrow
2 回	NP PrP PrP	Time like an arrow like an arrow

$NP \rightarrow NP PrP$ のように左辺の記号を右辺にも含むばあい、再帰的な規則と呼ばれる。再帰的な規則により無数の句、さらには文を生成することができる。

言語の本質

人類ほど高級な言語機能をもつ動物は他に見当たらない。言語は、人類のみの保有する抽象度の高い機能で、八つの機能中最高位にある。言語には見かけ上いくつかの役割がある：

- (1) コミュニケーションの道具となる。
- (2) 考えや思いを外部に記録する。
- (3) 心の中を観察する。
- (4) 心のできごとを記述する。
- (5) データを記憶するため記述の道具となる。
- (6) 考えをまとめる手助けをする。

いずれが本質的であろう。(4)に注目しよう。心の中では非言語的なことがらも含めていろいろなことが生じる。言語は、そのようなできごとを一次元の記号列に変換する。これを基本に置くと、記述するにはまず観察しなければならないので、(3)は(4)の前提条件となる。また、文になればコミュニケーションも出来る

し、記録も出来る。したがって(1)と(2)は(4)の応用と言える。(5)は、(4)に付随している。(6)は、言語自身にまとめる力はなく、人の側が(4)の結果を参考にして推敲するもので、広い意味で(4)の応用と言えよう。

以上のように解釈すると、言語の本質を記述機能としても不具合はなさそうである。ただし主に高次レベルのオブジェクトに用いるがゆえに、低次レベルのアナログ信号を記述するのは不得手である。

3.3.2 意味

意味には、いろいろなとらえ方がある。例えば桜の意味として、“木の一種で、幹があり、枝があり、葉がある。春には花が咲く”，といった辞典で説明されるようなとらえ方がある。一方文学的には、“桜の花はすぐに散る。はかない人生のようだ”など、美しくてはかない側面が大切になる。またある人にとっては、他の人には知り得ない桜にまつわるエピソードがあろう。このように多岐にわたる意味を、どのようにとらえれば情報処理に都合がよいであろうか。

単語

上述の記憶において概念形成について述べた。ここで概念、単語、それに単語の指し示すオブジェクトの関係性を述べよう。単語は概念を代表する名称であり、逆に概念は単語に意味を与える。また概念はいくつものオブジェクトから特徴を抽出して形成され、この特徴によって初めて見る桜でも、それを桜と指し示すことができる。辞典の説明はこの概念を記述したもので、本書ではこれを“狭義の意味”と呼ぼう。狭義の意味は成人一般に共通しており、コミュニケーションの際の根拠となる。一方、人は多数のエピソードを記憶している。エピソードは、いままでフレーム表現したように単語あるいは短い語句を用いて記述できる。エピソードごとに当該の単語が他と結びつき、まとまりのある知識を形成する。それらの結びつきがその単語に意味を与え、これを“広義の意味”と呼ぼう。桜に関して言えば、はかない人生という側面も、個人に固有のエピソードも広義の意味に含まれる。一つ注意しておかなければならないのは、心には順序よく整理された辞典が存在するわけではない。多くのエピソードに分散して意味が表現されている。

文

➤ 格関係

2.3 節の推考で S1 を例にして文の格関係について述べた。桜と咲く の概念を格関係に注意してフレーム表現して見よう：

桜(特徴(木あるいはその花, 春に開花する, 花は薄紅色か白, 落葉する, 日本を象徴する, ---),
関連事象(伸びる, 茂る, 枯れる, 咲く, 散る, ---),
下位クラス(染井吉野, しだれ桜, ---),
-----)

咲く(事象内容(つぼみが開く),
主体(花),
場所(-),
時間(-),
-----)

咲くにおける格要素に注目しよう。主体に対しては花 という制約をかけており, これを満たさないと, 咲く の主体にはなれない。桜はこの制約を満たしている。場所と時間には特に制約がない。すべての格要素について制約違反がないので, S1 は意味的に正常な文である。S1 をフレーム表現すると次のようになる：

今朝公園で桜が咲く(事象内容(つぼみが開く),
主体(桜(特徴(木あるいはその花, 春に開花する, 花は薄紅色か白, 落葉する, 日本を象徴する, ---),
関連事象(伸びる, 茂る, 枯れる, 散る, ---),
下位クラス(染井吉野, しだれ桜, ---),
-----)),
場所(公園(---)),
時間(今朝(---)),
-----)

咲く の格要素部分に桜, 公園, 今朝 の概念が埋め込まれている。このように, 文の狭義の意味は個々の単語の概念とそれらの間の結び付きとしてとらえている。なお, フレーム表現におけるスロットの制約は, 暗黙値と呼ばれる。フレーム表現において, スロットに他のフレーム表現を埋め込むときの大切な性質である。

➤ 動詞の格要素と事象の構成要素

言語における格要素は, 現実世界のオブジェクト認識の際注目する構成要素と密接に結びついている。言語においては日常 20 ないし 30 種類の格要素が用いられるが, それらを認識に

おける構成要素を用いて記述すると次のようになる：

言語の格要素²（

- 動作主（意志をもった主体で、通常は人），
- 主体（意志をもたない主体で、事象や属性の中心的な構成要素），
- 対象（事象や属性の客体で、主体に次いで重要な構成要素），
- 起点（事象や属性の出発点となる構成要素），
- 目標（事象や属性の到着点となる構成要素），
- 補足属性（抽象的な事象を補う構成要素），
- 基準（比較の基準），
- 時間（事象の生じる時間あるいは時刻），
- 場所（事象や属性の生じる場所），
- 原因（事象や属性を生じさせる原因），
- ……）

ここで補足属性は、例えば“やさしくする”における“やさしい”のように、抽象的な事象を補足する属性を指す。なお以上の格要素は、日本語を母国語とする人に共通するものである。それに対し例えば英語を母国語とする人には、第二の客体(間接目的語)があり目標とでは微妙な相違があるようである。

格要素は事象や属性の認識との兼ね合いで、必須要素と任意要素に分けられる。例えば 2.2 節の E1 において、動作主の人および起点の乗用車に注目しないと、降りるという事象が認識できない。それに対し、いつ、どこで、などの格要素は、注目しなくても認識可能である。このような観点から必須要素の組み合わせを調べて、格構造のタイプが定まる。ちなみに降りるは、(動作主, 起点)型である。

文章

文がいくつも連なって文章ができる。一つのエピソードとかある人の主張とか、対話の流れとか、それぞれ一連のつながりがある。この文脈が文章の構造として大切で、文章のもたらす意味は個々の文の意味に加え、文脈のもたらす意味と言える。次に、文脈のタイプをいくつか示す。

➤ ドキュメンタリー

あるテーマに沿ってできごとの流れが記述される。できごととしては、しばしば一定期間にわたる動物の生態や、ある事件にかかわる因果関係とその社会的影響などが取り上げられる。多くの場合時間軸に沿って記述が進み、文章を補佐する写真やイラストも含む。

² 言語の格要素と認識の構成要素に同じ名称用いるのは好ましくないが、他に適切な表現が見当たらないのでご容赦願いたい。紛らわしい場合は“言語の”あるいは“事象の”を付加して区別する。

➤ 論説

与えられたテーマに対して著者の主張や判断が述べられる。新聞の社説は、その典型である。多くの場合、時局の話題がテーマとして取り上げられる。その場合読者の側にも、予めテーマに関する知識をもつことが求められる。話題に沿って議論が展開し、それに対する著者の判断が加わり、最後は著者が結論としての判断や主張を示す。いわゆる起承転結型である。

➤ 対話

先に示した三つは、ある筋書きに沿って文脈が展開する。それに対し対話は、定まった筋書きがなく、次々に文脈が変化する。自分が主張し、相手がそれに反応する。その反応によって当初の主張を強めたり、あるいは修正したりする。また話題がしりとりゲームのように変化していく。

3.3.3 解析と生成

文と文章の、二つのレベルに注目しよう。文レベルの構造は、句構造文法に沿って考えよう。

解析過程

➤ 文解析

構文解析を中心に述べよう。入力文から最終的には図 3.3 (b)に示したような解析木を得ることを目標にする。まず各単語の文法ならびに意味の情報を辞書から取り出しておく。これにより単語ごとに N, V などの品詞情報が得られる。構文解析の手法には、大きく、2.2 節の視界の認識で述べた上昇型／下降型と、3.2 節のデータの探索における深さ優先／幅優先の方式とがある。上昇型の場合は、品詞の列に書き換え規則を逆向きに適用し、次第に大きな句にまとめ、最後に S にたどりつくよう試行錯誤する。下降型の場合は、S から出発して書き換え規則を順方向に適用し、最後に入力文の品詞列にたどりつくよう試行錯誤する。一方、深さ優先の場合は左側から書き換え規則を適用し、幅優先の場合は並列的に適用する。四つの方式を種々組み合併せることによって、いくつもの解析方式があり得る。その際、文を構文的に支配するのは V なので、V に注目して他の N との整合を試みることが多い。

次に意味解析を行うが、ここでも、V の格構造が力を発揮する。構文的な関係を照合しながら V の要求している N への制約条件を調べる。V のフレーム表現にうまく N のフレーム表現を埋め込めれば、狭義の意味が理解できたことになる。

▶ 文章解析

ドキュメンタリーに注目しよう。先頭の文から局所的文脈の解析を積み重ねていく。一文であっても複文や重文では複数の単文が結合している。接続詞などを頼りに、因果関係、対比関係、時間関係、空間関係などの局所的文脈を探る。この局所的文脈に沿っていくつかの単文相当のフレーム表現をより大きなフレーム表現にまとめる。このまとめ作業を一つの段落内で、先頭から可能な限り推し進める。その過程で類似の内容をすでにフレーム形式で記憶していれば、それを参照する。そうでない場合は新しい知識なので学習状態になり、前後のフレーム表現と整合を取りながら新しいフレームを構築しなければならない。段落全体が首尾一貫したフレーム表現になれば意味理解できたことになる。さらにいくつかの段落が連なるならば、段落を一つのスロットにするより大きなフレーム表現を構築する。ちなみに先のヨーロッパ旅行に関し、3.2節の末尾で示した文章を読み進み、同じ節のフレーム表現にまとめれば、全体を理解できたことになる。

次に対話について述べよう。以下はショッピングセンターへゲームをしに行こうとする太郎(T)がコンビニへ買物に行こうとする次郎(J)と道端で偶然出会ったときの対話である：

T1 やあ！

J2 やあ！

T3 どこへ行くの？

J4 そのコンビニへアイスクリームを買いに。

T5 来るときそこを通ったら、臨時休業の張り紙が出てたよ。

J6 えっ、本当？ 困ったなあ。

T7 駅の向こうのスーパーに行かない？

J8 遠いなあ。

T9 でもスーパーならアイスクリームもあるし、ゲームコーナーもあるよ。

J10 よし、行こう。

T5において太郎は、友人のよしみで次郎の目標の達成できないことを告げる。同時に次郎を自分の計画に誘おうという下心も働いている。誘いに応じてくれる可能性は五分と五分である。J8は次郎の婉曲的な断りであると推察できる。しかし遠いという事実は否定のしようがない。そこで戦略を代え、太郎のプランの利点を強調して再度誘う。これが功を奏する。対話では、相手の心理状態に関して自分の心の中に相手のモデルを作り、それとやりとりしながら発言を組み立てる必要がある。加えて表情や口調から相手の気持ちを読み取ることも大切である。

生成過程

生成では、なにを言おうとするのか、またどんな風に言いたいのか、の2点が大切である。言い表したい意味内容は、一般には非言語的である。そのためまず非言語的な意味内容を言語に変換しなければならない。

➤ 文生成

文の場合は、2.2 節で示したように認識した事象や属性に対して動詞や形容詞、また物に対して名詞を割り付ける。得られた客観的内容に対し、個々の人がそれをとらえる思いや判断が加わる。例えば、事象をとらえる格構造に関し、その表現には他動詞と自動詞の区分がある。

S8 太郎が窓ガラスを割る

S9 窓ガラスが割れる

動作主に注目するときは S8 を、また対象に注目するときは S9 を選ぶ。さらに文法では、例えば願望、推量、可能の意思表示としてそれぞれ～したい、～のようだ、など種々の法情報が準備されている。

➤ 文章生成

再びヨーロッパ旅行の紀行文を例に取ろう。なにを言いたいのかの枠組みは、エピソード記憶としてのフレーム表現が心に残っている。特に印象に残るのは、

- ・ パリでセーヌ河畔の白鳥の散歩道を散策中、思いがけず自由の女神像を見出し、感激して家族と一緒に写真を撮ったこと、
- ・ バルセロナのランブラ通りを散策中、大道芸人がピアノを弾く蛙の人形を見事に紐で操り、あまりに面白くて次の日にも見物に行ったこと、

などであるとしよう。

セーヌ河畔のくだりについては、ヨーロッパ旅行フレームの当該スロットから画像データを取り出し頭に思い浮かべる。それに沿って事象や属性の格構造、さらには単文が連続して生成される。いくつかの単文が得られると、それらを結合して複文や重文を作る。例えば、散歩道を散策している間に女神像を見つけたという時間関係、女神像に驚いたので家族の写真を撮ったという因果関係、自分は所かまわずデジタルカメラで撮影したが父は要所要所でビデオを撮影したという対比関係など、事象同士の関係に注目して局所的な文脈をもつ段落ができあがる。段落がいくつかできると、親フレームのスロット構成を参照しながら節さらには章を構成する。

曖昧性の解消

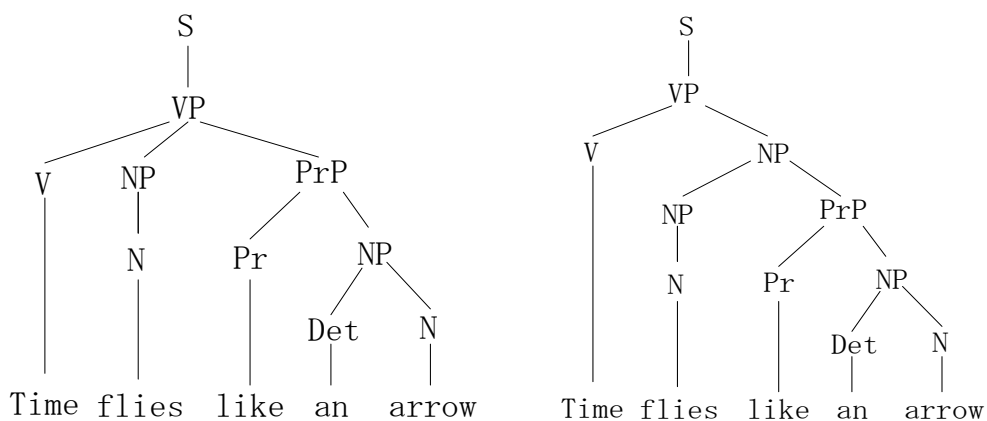
言語処理と限らず画像処理，その他 AI 全般にわたって大きな課題は，処理過程で生ずる曖昧性の解消と言って過言ではなかろう．実を言えば例文 S6 は，初期の機械翻訳研究で曖昧性の多い文としてしばしば引用された文である．通常曖昧性は種々の処理レベルで生ずる．単語レベルでは，次のような多義がある．

S6 の単語の多義（

time(n1(時間), n2(時代), v1(時間を定める), v2(時間を測る)),
 flies(n1(はえ), v1(飛ぶ), v2(飛行機で行く), v3(時間が過ぎる),
 v4(飛行機で運ぶ), v5(飛ばす)),
 like(v1(好む), v2(したい), adj1(似ている), pr(のように)),
 det1(一つの), det2(ある)),
 arrow(n1(矢), n2(矢印)))

文レベルでは，V に注目すると，図 3.3 (b) のような flies を V とし Time を NP とする構文解析や，図示はしていないが，like を V とし Time flies を NP とするものもある．

細かい規則は省略するが，図 3.4 (a) と (b) のような Time を V とする解析もある．



(a) 矢のようにハエを測れ！

(b) 矢のようなハエを測れ！

PrP(like an arrow) の修飾先が(a)の場合は V(Time)，

(b)の場合は NP(flies)である．

図 3.4 曖昧な構造

文章レベルになると，it や this/that などの指示詞がいずれを指すのか，あるいは一つのフレーム表現を他のいずれのフレーム表現の，いずれのスポットと結び

つけるのか、などの曖昧性がある。以上のように、曖昧性は単語、句、文、文章の各レベルで生じ、また文法（表層）的にも意味（深層）的にも生じる。

では、曖昧性はどのようにして解消されるのであろうか。

➤ 制約の利用

しばしば用いられる手法は、制約に注目するものである。処理過程で規則あるいは関係が候補にあがると、それにかかわる構成要素の間に制約が課せられる。いくつもの規則／関係は互いに整合しなければならないが、制約に注目して矛盾するものを排除していく。その際低次で排除できないものは高次で、また表層で排除できないものは深層で排除するというように、段階的に制約を導入していく。例えば図 3.4(a) と (b) は、構文規則の範囲内ではいずれとも決定できない。しかし (a) は、意味解析の段階で手法の格要素として V の制約を満たさず、受け入れられない。

➤ 統計処理

言語についていままでの説明は、文の構造や意味に沿い段階的かつ網羅的に解釈する、という前提に立っていた。実際に人は、文法と意味を並行的に理解するばあいも少なくない。また網羅するより、可能性の高いものに注目するという傾向も見られる。そこで、これらを踏まえた効率的処理について考える。文法や意味の情報を反映した結果として、統計的頻度すなわち確率に注目しよう。まず考えられることは書き換え規則の適用の確率である。例えば初期記号 S に対して、 $S \rightarrow NP VP$ と $S \rightarrow VP$ (図 3.4 参照) の二つの規則が適用可能である。もし 90% の文で前者が用いられるなら、前者を優先して解析を進めるのが早道である。もう一つは、二つの語句が同時に出現する、共起関係である。格構造において V と N には制約を通じて強い結びつきがあり、両者の共起関係は当然確率に影響する。例えば、飛ぶの場合、鳥や飛行機などが主語になる確率は高い。一方 PrP が直前の N を修飾する場合は N と N の共起関係である。いずれにしても、人は文法や意味に加え統計データも蓄積しており、曖昧性の解消に役立てている。

➤ 戦略の導入

ある目標に向けて処理を行うとき、一般にいくつもの手法ないしは接近法がある。対象分野を絞る手法、プログラム開発の容易な手法、処理時間の短い手法など観点はさまざまである。一つの手法、換言すると処理戦略を決定すると、それ以降の処理の枠組みはあらかじめ定まると言ってよい。戦略の導入による曖昧性の解消は、先に述べた二つに比べ大局的であり、特に早い段階での導入はしばしば桁違いの効率化につながる。戦略決定に向けての大局的な判断には、しばしば豊富な経験に裏付けられた、状況の認識力ならびに行動の立案力を必要とする。

以上、文章の解析と生成のあらましを述べた。要点を整理しておこう。解析では、与えられた文章の、個々の文の格構造を全体として首尾一貫した大きなフレーム構造に組み立てる。一方生成では、まず非言語的な内容を文の格構造に変換し、全体として首尾一貫した大きなフレーム構造をもつ文章に組み立てる。いずれにおいても組み立ての過程で試行錯誤が伴う。解析では、得られた大きなフレーム表現が言語によってもたらされた新しい知識となる。また生成では、組み立てたフレーム表現が未整理の知識を整理した結果となり、概念化に向けた一歩となる。

なお生成に関し、言語自身には考えや思いをまとめる力はなく、単にそれらを記述する道具に過ぎない。しかし、記述の過程で推敲し、自分の考えや思いの冗長さあるいは筋道の展開の稚拙さなどに気づく。このように言語には、漠然とした考えや思いを明確化し、整理整頓するのを支援する重要な機能がある。

3.4 コンピュータシミュレーション

➤ 情緒

シミュレーションを述べる前に、本書の情緒研究の先駆性を示す解説記事を紹介したい。自然言語処理では内容が多岐にわたることから情緒を欠いての研究には限りがある。とりわけ知識処理が中心の時代にあって、あえて情緒処理に取り組み、その重要性を訴えた[30]。

シミュレーションに関しては、まず情緒的な出来事を含む小さな物語あるいは物語の一部を収集することから始めた。それらを詳しく分析し、情緒を生起する特徴を抽出し、整理した。次に前章で述べたイソップワールドの上に、情緒処理のサブシステムを組み込んだ[31]、[32]。実験については、7.3 節の総合的なシミュレーションで述べる。主人公の振る舞いの基本シナリオは2.5 節で述べた。それに沿って多くの変化形が準備され、サブシステムの検証に用いられた。

以上を通じて情緒処理の工学的応用の分野を牽引する役割も担った[33]

➤ 記憶

多くの単語から概念的特徴を抽出し、同時に単語と特徴の両方を分類する学習システムを構築した[34]。一つの単語を読み取るとすでに学習した単語と逐次比較し、概念的特徴に適合するものがあれば新しい単語にも割り付ける。また比較の過程で、外部の教師に質問することにより新たな概念的特徴があれば、それらを抽出し両方の単語に割り付ける。概念的特徴により単語と特徴の両方

が自動的に意味分類される。白紙の状態から出発する第1段階と統計的な処理をする第2段階とに分かれる。学習における一般化と特殊化が効率よく組み込まれている。

➤ 言語

イソップワールドに物語生成のサブシステムを組み込んだ[35]。基本シナリオに沿って種々の心理活動を実験し、物語を生成した。一連の実験の目的は、非言語的な心理活動を自然言語に変換するアルゴリズムの確認である。目的に適う良好な結果が得られ、一部は7.3節で示す。このサブシステムでは独り言を生成するアルゴリズムだけを組み込んだが、会話文については先に述べた文献[32]でアルゴリズムを拡張している。また情報処理の観点から意味論を展開し、言語学に対し一つの示唆を与えた[36]。

一連のシミュレーションにより、本章で提案した理論が支持されているものと認められた。

