||||| 特集 新システム論の視座 — 関係性と多様性の回復を求めて — (その2) |||||

新しいファジィ理論が導く 関係性の世界とシステム論[†]

片井 修*

1. はじめに

ここでは、ファジィネスに対して新しい解釈を導入することによって、我々の「あいまいさ」との関わり合いの仕方を通して対象システムの捉え方についてどのような新たな視点が開けるのかを考えてみたい。さらに、その結果を一般化することによって、システム論自体としてどのような新たな世界が拓けるかについて考えてみたい。

元来、ここで導入するファジィネスの解釈は、論理に基づく記号処理をベースとした従来からの人工知能における問題解決の方法とファジィ理論、より具体的に言えば、ファジィ推論とを厳密な形で繋げて問題解決に活用するためには、「あいまいさ」についてどのような解釈を与えるべきかについての検討結果から導かれたものである。これはまた、確率とファジィネスの根本的な相違がどこにあるかについても重要な示唆を与えてくれる。

当初の出発点としてはこのような目的が設定されていたが、結果として導かれた問題解決とファジィネスの関わり合いの形はこの想定と随分違うものも考えることが可能となった。この意外な結末の背後にある要因は、個々のファジィネスにその“固有性”を認める立場に立つことによって、問題全体に内包されるファジィネス群全体としての整合性が一般には損なわれることにある。そのことに対処するために導入されるのが創発的ある

いは自律分散型問題解決のメカニズムであり、ポラニーの暗黙知やハーケンのシナジェティクスのような自律的な秩序形成の原理を導入して問題解決の新たな形の定式化が行われる。

さらに、連続量をファジィラベルのような離散量(記号量)に符号化(コーディング)する手段としてファジィネスを考えたとき、連続量の世界での力学系の構造を記号列の世界での構造的特性で捉えるいわゆる記号力学(symbolic dynamics)の枠組みを導入することによって、このファジィネスに基づく記号化の過程の中にカオス現象を生み出す複雑な構造が内包されていることを明らかにする。

また、今までの議論を踏まえて、関係性や多様性を重視したシステム構築の興味深い例として、農業の分野における試みを紹介し、さらにその背後にある考え方、価値観に関わるものとしてエコロジー思想を紹介する。

さらに、一般に、システムを構成する関係の規定要因として、関係成立の様相と関係統合の形態という二つの軸(視点)を持ち出すことによって、システムあるいは場の成り立ちを大別することを考える。これによって、今後のシステムのあり方についても少し考えてみたい。

2. 制約指向の立場からのファジィネスの解釈

ファジィネスについて従来とは少し違う別の視点から考え直してみたい。通常、ファジィネス(ファジィ集合)は帰属度(メンバーシップグレード)が連続的な $[0,1]$ の中間値(二値的離散値ではなく)をとることが可能な特性関数(メンバーシップ

[†] New Aspects on Fuzziness Yielding Relational Perspectives on the World of Systems
Osamu KATAI

* 京都大学大学院工学研究科精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering, Graduate School of Engineering, Kyoto University

関数)により関連づけられる。このような立場に立てば、連続値を規定する軸(すなわち $[0,1]$ の区間)とそれぞれの「あいまいさ」との関連付けが規定されていることになる。この規定関係はいわば“中央集権的”なものとも見ることができる。

このような“グローバル”な尺度を導入した中央集権的なファジィネスの捉え方ではなくて、もっとそれぞれのファジィネスの“個性”、“固有性”を尊重した捉え方を考えてみよう。そのためには、個々のメンバーシップグレード軸を固有の意味や価値を有する相互に独立した軸(“局所的尺度”)として捉える必要がある。

このように考えたとしても、全ての軸に共通した普遍的視点あるいは軸間の関連性を統一して捉える必要から、全てに共通に“制約”として捉える方法を考える。この考え方は決して新しいものではなく、ザデー教授自身が当初より考えてみたものである。すなわち、通常ファジィ集合が縦割りの解釈・表現になっているのに対して、集合を横切りにしたときには、これは区間の集合体として見ることができる。

このとき、たて軸は制約の強さや厳しさを表しているが、この度合いを定量的に測るのは一般に困難であると考えられる。そこで、比例尺度としてではなく、単に順序尺度(全順序)により捉えられると仮定してみよう。この場合、ファジィ集合の表現形式は通常形ではなく、図1のように区間(制約区間)群の上下端点の組をデカルト座標上に表示し、これらの点を繋げてできる有向曲線による表現を考える。この表示形式(デカルト座標系)をMinMax図と呼ぶ。この曲線による表現手段を採れば、図2の3つの集合も全く“同一の”ファジィ集合として捉えられることになる。つまり、ファジィネスを“形”としてではなく“型”として捉える立場である^{1),2),3),4)}。

このようなファジィ集合概念を“区間制約ファジィ集合”と呼ぶ。また、上の有向曲線を“区間制約メンバーシップ曲線”と呼ぶ。この場合、二つのファジィ集合の間で行う操作、例えば、集合の和とか積を考える場合は、グローバルな(全ファ

ジィ集合に共通の)尺度を持たない局所的(各ファジィネス固有の)尺度を採用していることから、単純には実行できない。

そのためには、二つの集合の間で同一のレベルと見なすことができるレベル間の対応関係をつけて、対応のついた区間同士の間で集合(区間)演算を行う。これも先程のMinMax図上で実行する

図1 区間制約ファジィ集合概念とそのMinMax図表現

図2 区間制約ファジィ集合の型と形

ことができる(図3参照)。このようにして得られた集合は同図にあるように今までのファジィ集合概念からは極めてかけ離れたものになることに注目されたい。

個々のファジィネスの固有性を認めることは、このように大変手間な手続きを要求するものであり、ある意味で、ザデー教授の導入した(あいまいさの基準を規定する)グローバル尺度は、その手間を省く便法を提供しているとみることもできよう。しかし同時に、後に明らかになるように、このようなローカル尺度の導入は問題解決のスタイルを根本的に変更する基となり、システム論的に見ても、問題の捉え方、解決の仕方に大きな視点の変更を迫るものであることが明らかにされる。

3. 確率とファジィネス

上のような視点から、確率とファジィネスの関係について考えてみよう。そのために、リーマン積分とルベーグ積分の対比を糸口に考えてみたいと思う。この対比でいえば、リーマン積分が積分の対象となる部分を“縦割り”の面積計算で求めているのに対して、ルベーグ積分は“横割り”の面積計算を採用しているということができよう。この変更(リーマンの立場からルベーグの立場へ)によって、積分可能な関数のクラスが飛躍的に拡大されることになった。その理由は、“横に切る”

方法の採用によって、積分の定義(計算操作)が、横軸(全体集合)の位相(近いか遠いかの隣接構造、トポロジー)に拘束されることがなくできるようになったことである。したがって、極めて不連続性の高い関数： $f(\text{有理数})=0$, $f(\text{無理数})=1$ に対して、区間 $[0,1]$ 上の定積分は1と計算することが可能となる。これは、 $0 \times \text{測度}(\{[0,1]\text{内の有理数の全体}\}) + 1 \times \text{測度}(\{[0,1]\text{内の無理数の全体}\}) = 0 \times 0 + 1 \times 1 = 1$ と求められるからである。

このように、全体集合の位相から解放されるために、ルベーグは(全体集合上の部分)集合の測度(大きさの評価)の理論、いわゆるルベーグ測度論を展開した。これは後に、ウィーナーやコルモゴロフによる近代的な確率論の基礎付けを与えることになる。つまり、この測度概念を用いることにより、広く事象の確率を算定する途が開かれた。

一方、ファジィネスを捉えるのに我々が“横切り”の立場を採用したのは、“逆に”全体集合(横軸)の位相を陽に取り込むためである。“縦切り”のいわゆる帰属度(メンバーシップグレード)を用いる立場では、全体集合の一点、一点に意味があり、その帰属の度合いが評価されていることから、全体集合の位相が陽に反映されることはない。しかし、我々の横切りの立場では、一点、一点には意味がなく、その集合体である“区間”のみが意味をもち評価の対象となる。したがって、横軸の位相が陽に評価に入り込んでいることが分かる。

図3 区間制約ファジィ集合における集合演算

我々は、このように横軸の位相と深く関わる形で規定されているところにファジィネスの本質があると考えている⁵⁾。一方、上に述べたように、確率概念はこの位相とは独立性の高い測度概念に基礎を置くものであり、ここに両者の根本的な相違が見て取れる。

4. 制約の分解還元とファジィ推論

さて、このようなファジィ集合概念あるいはそれに基づいたファジィ推論がどのようにして自然に導かれるかを見てゆこう。その鍵はやはり“制約(制約条件、制約領域)”にある。問題を制約を中心に捉え解決する立場を一般に制約指向問題解決と呼ぶが、我々のファジィネスの捉え方はこのアプローチと親和性が高く、そのために独自のファジィ推論形式が導入される^{3),6)}。

さて、図4に示すように、二つの変数 x と y の間に同時制約(制約領域)が図にあるように多段(連続多段)のレベルで設定され、真中にゆくほどその制約充足の度合いが高いというファジィ(弾力性のある)な制約が与えられていたとしよう。我々のアプローチでは、この同時制約領域をピラミッドのような断面が矩形の多段の制約領域の和(合併)として“近似”することを考える。このような近似を基に、図4に示すように、これを変数 x の軸と変数 y の軸それぞれに射影してできる

図4 ファジィ集合の組合せによるファジィな制約の分解近似

“影”それぞれが(区間制約)ファジィ集合を構成していると考ええる。このような近似によって、この連続的な(複雑な)同時制約領域を、“構造的でマクロ”なファジィ集合(ファジィラベル)間の対応関係と、区間(制約区間)間の“連続的でミクロ”な対応関係に分けることができる。この分解後は、二つの変数 x と y は、対応する区間内にそれぞれ留まる限りにおいては互いに自由に動くことができ、問題解決の自由度を上げることができる。この関係は、一方のファジィ集合を前件部とし、他方のファジィ集合を後件部とするファジィルールとして表現することができるが(図5)、このルールはよりミクロに見れば、前件部区間と後件部区間の対応関係である“区間ルール”の集合体として解釈される。

一方、最初に与えられる同時制約領域が二値的“クリस्प”な制約の場合、同じような考え方によって、図6に示すように、制約の矩形領域近似とそのファジィ推論表現を求めることができる。

図5 区間ルールの集合体としての区間制約ファジィルール

図6 クリस्पな制約のファジィ集合の組による分解

興味深いことに、ここで出現する後件部は“山形”ではなく下すばまりの“お椀型”の形を成す。これは従来のファジィ推論では全く表れない形態であり、ある同時制約を厳格に守る(充足する)ためには、一方の変量に対する制約を緩く(区間として広く)とるならば、逆に他方の変量に対する制約は厳しく(区間として狭く)とる必要があり、また、逆も成立する、という至極当然の理を表現するものである。

さて、ファジィ推論の帰結を実際の行動に結びつけるには、いわゆる非ファジィ化(一点化)が必要となる。我々は、標準的な“重心法”(に相当するもの)と制約の特殊性を考慮した“制約法”という二つの方法を提案している。それぞれは帰結部の MinMax 図表現の上で、図 7、図 8 に示すような操作によって求められるものであり、前者(重心法)は制約全体の“平均像”により代表点(一点化)

図 7 MinMax図上での重心法による非ファジィ化

図 8 制約法による非ファジィ化

を求めるのに対して、後者(制約法)は、制約の意味をより深く考え、最も安全性の高い点を代表点として一点化(非ファジィ化)するものである。

このようなファジィ推論を用いて、例えば、台車の可動範囲が制限された倒立振子の制御を、台車だけの動きを追うファジィ推論システムと、逆に、振子の動きだけを見るファジィ推論システムを構築し、それぞれの推論の帰結部(台車に加える水平外力)は推論結果の OR 合成により求めるが、全体の帰結部はこれら求められた帰結部の AND 合成として計算する極めてモジュール性の高いファジィ制御システムの構築に成功している⁷⁾(図 9)。

これも、ファジィネス(トレランス)の導入によって、“複雑な”問題を比較的独立した(緩やかに結合した)問題に分解し、それぞれの部分解を求めた後に、それらを合成(AND 合成)することによって問題解決を可能とする、我々のアプローチの基本的考え方を反映するものである。

5. 記号処理推論との融合

我々のアプローチではクリスプな区間の集合組織体としてファジィネスを捉えていることから、二値論理をベースとした人工知能における記号処理推論と厳密な形で融合して活用することが可能となる⁸⁾。それを例示するのが、図 10、図 11 に示

図 9 制御目標のファジィ分解による倒立振子のモジュール化された制御システム

されたセンシング能力と移動能力に制限のある自律移動体(車両)の移動計画生成問題である。本例では、車両の初期位置が正確には分かっておらず、そこにファジィネスが導入されている。さらに加えて、車両の方向を検知するセンサーが連続値として計測できず、図 11 左に示すように量子化されて離散的にしか検知できないとする。さらに、移動の方向も、図 11 右に示すように前進と後退それぞれについて制限を受けているとする。このとき、初期の位置によってその後の移動の計画が構造的に(何回切り返すかなど)異なってくる。このような構造的な計画生成の部分は、記号処理的な人工知能の標準的推論方法を用いて行い、その下での定量的な移動方向や移動距離の決定といった部分はファジィ推論に求める(図 12)。このようなハイブリッドな推論システムを構築することができ、その推論過程を図 13、図 14 に示す。ここで大事なことは、このような質的に全く異なる二つの推論が、“制約”という共通概念を導入することによって、

厳密な形で繋がって活用されていることである。推論途中に現れる車両の可動範囲を表すファジィ集合は極めて奇妙な形になることに注目されたい。移動距離の決定に必要な非ファジィ化には、可動範囲という制約の意味を重視して制約法が用いられている。

図12 全体の構造的な計画生成プロセス

図10 車両の経路移動計画問題

図11 車両の観測と移動能力の限界

図13 最初の移動に関する区間制約ファジィ推論

図14 最初の移動で区間4に入った場合に
おける2回目の移動に関する推論

6. 自律的秩序形成による問題解決

我々のファジィネスの捉え方は、ここに示したような厳密な論理の上に載せた明晰な形での問題解決との親和性が極めて高いというだけではなく、全く別の側面ももっている。これは、ファジィネスが区間制約(制約区間)の集合体として捉えられ、しかも区間制約の間には問題解決に関連してリンク構造が張られている、いわば区間制約群の“集合組織体”としての側面を濃厚に有していることにある⁸⁾。

例えば、先に述べたような同時制約から導かれる(区間制約)ファジィ推論も(制約)区間間の対応関係(リンク構造)、すなわち、区間ルール(前件部区間と後件部区間の対応関係)の集合体としてみることができる^{9),10)}。

区間間の対応関係を論ずるのはこれだけではなく、例えば、問題(意思決定)に関わる二つの変数それぞれにどれだけ変動が許容可能であるかの範囲(トレランス)を設定する場合がある。このとき、潜在的に可能なトレランスの全体がそれぞれファジィネス(ファジィ集合)として設定可能である場合に、それぞれの選ばれるトレランスを規定する制約レベルの組合せが、パレート最適などの実現可能な組合せに関する無差別関係(無差別曲線)として導かれる場合がある。このようにして、問題に関連する様々なファジィ集合や制約区間にリンク構造が張られ、いわばファジィネスの社会組織体のようなものが形成される(図15)。

ここで注意すべきことは、このようなリンク構造は全体として必ずしも整合しているとは限らないこと、つまり、リンク構造を順次辿って元のファジィ集合に戻ってきたとき、出発点である元の制約レベル(制約区間)に必ずしも戻らないことである。このことは、後に、記号力学(symbolic dynamics)を導入した議論によって、カオス現象との関連を通して明らかにされる。

何れにしても、このような不整合性を内包した集合組織体であることを重視するとき、上に述べ

図15 ファジィネスの成す社会組織体

たような二値論理をベースにした問題解決アプローチが適切でない場合が考えられる。すなわち、全体の整合性が欠如している場合、整合性を保ちながら部分を全体から切り離して処理する、記号処理人工知能で採用されている要素還元的なアプローチは不可能となる。逆に、このような、区間間のリンク関係、ファジィ集合間のリンク関係が成す“ネットワーク”から成る集合組織体の特性をより積極的に活かした問題解決の導入が必要とされる。

これに関連して、我々は、物理現象を始め幅広い領域での自己組織化現象の成立を説明し活用する枠組みであるハーケンのシナジェティクスの考え方と、階層的な複雑な秩序形成がどのような成り立ちを有しているかを、言語化し明示的に示すことができない知識(暗黙知)の深層構造として明らかにするポラニーの暗黙知構造に注目している。これらの枠組みを導入した自己組織型・自律分散型問題解決システムを提案し、実装しその有効性を検証してきている¹¹⁾(図16)。さらに、この枠組みを今のファジィネスの集合組織体に導入して、自律分散的な形でファジィネスを扱い全体としてバランスのとれた制約充足解を見出す問題解決システムを提案してきている^{12),13)}。図17はそのような問題解決システムの構成を示すものであり、全体は2層から構成される。最上層はファジィラベル(ファジィ集合)や元々離散的な記号量に関する制約充足問題(変量に対する記号・ラベルの割り付け)を全体的整合性に留意しつつ行う、いわゆる整

合ラベリング問題(CLP: Consistent Labeling Problem)を解決するシステムとなっており¹⁴⁾、代表的解法を用いた逐次的(シーケンシャル)処理が実行される。下位層は、選ばれたファジィラベルの下で適切な制約レベル(制約区間)の選択を行うものであり、両者が相互の情報を交換しつつ互いに影響を与え合いながら同時並行的に問題解決を行う。上位層では、上に述べたように可能なラベル(ファジィラベル、ファジィ集合)の組合せを求め、下位層ではそれらに対応する区間レベルの選択を重畳した形でそれぞれの活性度分布という形で求める。これは、下位層が互いに重なり合う制約区間を多重に設定した極めて冗長性の高い構造を有している特性を活用したものである。このように、自己組織的な問題解決にとって冗長性の導入は極めて肝要なことである。このような秩序形成が自然に進行するように、シナジェティクスにおける自己触媒性や隷属原理を導入するとともに、暗黙知構造における二重制御の枠組みが組み込まれ、階層間に大きなフィードバックループを形成し、創発的にこれら2層で同時進行の形で秩序形成されるよう工夫されている。これによって、ファジィな弾力的制約の下でバランスの取れた制約充足解が求められる。

最後に再び強調しておきたいのは、逆説的では

図16 自己組織型問題解決におけるシナジェティクスの原理の活用

図17 記号処理と秩序形成力学系を組み合わせたハイブリッド型問題解決システム

あるが、「問題が“分けられない”(要素を切り出せない)から問題解決はいきおい“分散的”になる」のであり、逆に、「“分けられる”ならば、要素を一つずつ切り出してそれに処理を加える“逐次的”かつ“集中化”した問題解決が可能となる」ということである¹⁵⁾。

7. リンクネットワーク構造に潜む複雑性

このようなネットワーク内の全てのリンク構造を同時並行的に活用し、自己組織的・自律分散的に問題解決を行うのではなく、一度にひとつのリンク構造だけを選びそれを順次辿ってゆく、いわゆる制約伝播による問題解決が考えられる。このとき、伝播されるのは区間制約(制約区間)であり、伝播された区間と最もよく照合するファジィラベル(ファジィ集合)中の制約レベルの区間が選ばれて、つぎの制約伝播に関与することになる。このような制約伝播構造に内包される“複雑さ”を調べるために、図 18 に示すような最も単純な伝播構

造を設定し、そこで出現する制約レベルの推移を調べてみた。図 19 に示すようなカオス現象のモデルとして名高いローレンツの気象モデルの振る舞いと極めて類似した結果が得られた。また、制約の記号ラベル化に用いられるファジィラベル(ファジィ集合)の一つのパラメータの値を変化させたときの分岐図は図 20 のように、極めて興味深い

図18 ファジィラベルによる連続量の記号化(ラベル化)を含む制約伝播の力学系

図19 選択される制約レベルの推移

図20 制約伝播のプロセスの分岐図

カオス現象の発生を示唆する構造が出現した^{16),17)}。

この複雑さの背後にあるのは、制約伝播の際に記号化(符号化)のためにファジィラベル(符号)の選択のプロセスが介入していることである。もし、このプロセスを外すと極めて安定した収束的振る舞いが出現することが、ブラウアーの不動点定理を用いて数学的に証明される。記号化を通して連続量の状態遷移(力学系など)の振舞いの構造的把握を行う分野は一般に記号力学と呼ばれるが、上に述べたことは、ファジィネスの介入した記号力学系の複雑さを示すものといえよう。

8. 農業にみるシステム論と自然環境観

ここでは対象世界の複雑さを積極的に活用したシステム構築の興味深い考え方を示す例として、農業の分野をとりあげて紹介しよう。ここでとりあげるのは、B.モリソンによる“パーマカルチャー”と福岡正信による“自然農法”である^{18),19)}。パーマカルチャーは、パーマネント(永続)とアグリカルチャー(農業)あるいはカルチャー(文化)をつづめた造語である。人間にとって恒久的で持続可能な環境を作り出すデザイン体系を示すものである。自然農法の福岡正信の「自然に逆らうのではなく、自然に従う」という思想と通底している。その背後にある倫理観(環境倫理)として、土壌、大気、森林、微生物、動物、水など生態系を構成する全ての生物、無生物に配慮し、これら全てを活かし、「競争」するのではなく「協力」の関係性の網の目を紡ぐことに力点が置かれる。

具体的には、大規模なエネルギー多消費型の粗放的農業ではなく、小規模なエネルギー効率の高い集約的農業を行う。そのために、自然エネルギーや動物、植物の潜在的(今まで注目されてこなかったものも含めて)働きを活用し、“全体として”収量の増大を図る。

つまり、農業システムの一つ一つの構成要素を相互に助け合うように配置し(ギルドと呼ばれる関係付けを行う)、しかも、各構成要素が多数の機能を営むようにし、さらに重要な機能は多くの構

成要素によって(冗長に)支えられるようにする。

例えば、ニワトリを例にとれば、肉、卵、羽毛、鶏糞、炭酸ガス、熱、メタンガスなどを産出し、土を引っかいたり、昆虫や草などの餌をついばみ、砂浴びをしたりする。これらの働きは畑、果樹園、温室などの肥料、耕耘、除草、室温調節などに活用される。また、アカシアは、種は鳥の餌に、葉は大型家畜の餌、花は蜜蜂を集めるために活用され、さらに全体として、後から育ってくる植物の土壌を整備する先駆植物としての役割も果たす。また、貯水の機能の実現には、貯水池、低湿地からの灌漑、地中の水を引き出すなど冗長に様々な手段が用意される。

このパーマカルチャーあるいは自然農法に関わる特色ある考え方として“重層化(stackings)”がある。例えば、植物の重層(plant stacking)では、成長した大木が最上層(林冠)を形成し、そこで吸収されない太陽光がその下の小形の木の層で利用され、さらに下には光の少ない状況でも生育可能な灌木の層が形成される。また、地表には、草の層ができる。このような自然生態系の秩序形成に沿って農園を形成する必要がある。また、自然農法では時間の重層(time stacking)が重用される。これは、無肥料、不耕起、直播きの農法と密接に関連しており、ある作物の収穫前に別の作物を重ねて種蒔きし、収穫も必要部分(穀物なら実)のみを採り、それ以外はそのまま残す農法である。さらに、家畜を飼う場と作物の農園を重ね、家畜の活動時間と作物の生育時間を重層的に重ね合わせるものである。このように農園における生態系を関係性の網の目に重層的に紡いで形成し、農業や人手を必要としない理想的な農業を追求するのが自然農法の考え方である。この背後にあるのは、「自然に因果はない」(無因論)という福岡の自然観であり、因果関係を幾重にも逐一辿るような原因究明は農業では無力であると論じている。これは有機的に相互に関連した因果関係は部分的・近視眼的に見れば原因と結果が見出せるが、全体としてマクロあるいは長期的なスコープで見れば原因も結果もない世界を形成しており、近代科学的なア

プローチでは本来あるべき農業は実現できないと
している。

また、パーマカルチャーにおいて特色ある概念
として仲間集団(ギルド guild)がある。これは、相
互に協力し合えるような種の組合せと配置を指す
もので、協力(非競争)関係としては、根の競争が
ない、保護を与える、養分の提供、害虫の抑制、
犠牲植物、捕虫植物などがある。また、生態系で
注目すべき系の形成要因である接縁効果(edge
effect)が巧みに活用されている。これは、陸と
水、森と草地、河口と海、畑と果樹園など、境界
面(接触面)においては生物が両方からの資源を活
用でき生産性が高く生存条件が良いのに加えて、
接縁は網やフィルターの働きもし、エネルギーや
物質を集積させる働きをする。この結果、サンゴ
礁やマングローブなどが形成される。この接縁効
果を活用して、樹木作物と畝づくり作物を並べた
り、豆科植物と野菜を帯状に植えるなどの方法が
一般に用いられている。

このような農法の背後にあると考えられるのが、
ディープ・エコロジーの考え方である^{20),21)}。これ
は、ノルウェーの哲学者 A.ネスによって1970年
代に提唱されたものである。我々人間(人類)が自
然環境と関わるあり方について、今までよりも
う一段深く掘り下げて考えようとするもので、従
来からの人間(人類)中心の浅い(皮相的 shallow)
考え方と対比する意味で、深い(深層的 deep)
という言葉が用いられている。

その大きな特色は、自然(環境)の中で人間を主
役とする人間中心主義(anthropocentrism)から
生物圏平等主義(biospherical egalitarianism)へ
と基本認識や価値観を移行させるもので、その背
景にあるのは、人間や生物を関係のあるいは場的
な視点から捉え直す世界観の変更である。すなわ
ち、生物とは「固有な諸関係の場における結合点
(junction)である」、また人間は、「時間や空間に
関しては特定の境界をもたない関係の体系
(relational system)における接合点である」とさ
れている。これを彼は、「関係的思考(relational
thinking)」あるいは「関係主義(relationalism)」

と呼んでいる。

このようにして、世界を形成する諸関係のネッ
トワークを個々の関係に還元するのではなく、全
体として捉える“ゲシュタルト的”知覚が重視さ
れる。このような知覚を通して、彼は自己の概念
を自然環境全体を含むところまで拡張した形での
自己実現に向けて取り組む実践活動とそれを含む
哲学的立場を、エコフィロソフィーと区別する意
味でエコソフィー(ecosophy)と呼んでいる。この
ような考え方は西洋にある伝統よりもむしろ東洋
における土着的・伝統的考え方と親和性の高いこ
とが指摘されている²⁰⁾。また、量子力学のコペン
ハーゲン派流でない基礎付けから導かれるホーリス
ティックな自然観を与える D.ボームの内蔵秩序
の仮説とも深く通底するものである²²⁾。

9. おわりに

最後に、本特集を組むに至った動機について言
及しておきたい¹⁵⁾。今まで述べてきたように、我々
の導入したファジィネスの捉え方は、一方で、問
題の一部を切り出し逐次的な処理を行う要素還元
的な論理をベースとする記号処理問題解決の途を
拓くとともに、他方では、一部を切り出すのでは
なく、全体性をベースとして秩序形成を指向した
自己組織的な問題解決の途も提供するものである
ことが示された。また、後者の関係性を重視し積
極的に活用するものであり、システム論的にも興
味深い例として農業における生態系の本性に沿っ
た試みとその背後にある環境観としてディープ・
エコロジーを紹介した。

さて、これらの話を踏まえて非常に大雑把な捉
え方であるが、システムを、その内包する(システ
ムを規定する)“関係”の規定要因から大別してみ
よう。ここで取り上げる要因としては、早瀬 昇に
より企業の社会貢献活動(フィランソロピー)の必
要性を論ずる際に導入された論拠の枠組みやスコ
ットやテイラーの組織論分類の枠組みを参考にし
て^{23),24)}、図 21 に示すように、関係の“成立様相軸”
と関係の“統合形態軸”の二つの軸を導入する。

これによって、システムの成り立ちを大きく4つの領域に区分することができる²⁵⁾。様相軸(縦軸)の上方は、関係の成立(形成)が随意的であり、システムが開放的(非閉鎖的)であることを意味している。一方、下方は逆に、関係が必然的な形で成立あるいは形成され、システムはいきおい閉鎖的となる。統合軸(横軸)の左側では、システムを形成すべき関係群が連携・整合性を持たずばらばら(独立)に存在するのに対して、右側では逆に、関係群が密接に連携して“ゲシュタルト”を形成する働きがある。第Iから第IV象限に記入されているのは、社会的なシステムを考えた場合において、それぞれの象限におけるシステムを規定する主要因である²⁶⁾。

農業やディープ・エコロジーで強調してきたのは第I象限の特性を重視したシステム構築とその背景思想ということができよう。もっとも、第IIから第IV象限のシステム構成が不要というわけでは勿論ない。むしろ、国のような大規模な社会システムを頭に描いていただければ、それぞれの象限に根ざしたシステム形成要因の必要であることが容易に理解されよう。また、社会システムを想定した場合、第I象限を最もよく象徴するシステムとしては、NPOやNGOなどに代表されるボランティアな組織形態がある。これは共有する価値観に共鳴(共感)して自律的に集合・組織化され

た集団とみることができよう。大切なことは、これら4つの象限の“力”がバランスよく育っているように社会が形成されていることである。時間的、歴史的な視点から考えると、第IV象限から第III象限へ、さらに第II象限へと展開され、今後、第I象限の領域の発展が望まれると言えよう^{27),28)}。これは、図で横軸は右側に行くほどシステムにおける“関係性”が強く、縦軸は上部に行くほどシステムの“多様性”が高いという大雑把な解釈が許されれば、「関係性と多様性を求めて」という本特集の副題につながることになる。

最後に、本稿を締めるにあたり、大変ご多忙の中、貴重なお時間を割いてご執筆いただきました先生方に心より深く御礼申し上げます。このようにお願いできたこと自体にも感激しましたが、全ての皆様から原稿をいただきました今の心境は大変感慨深いものがございます。編集委員の皆様には、このような方々にお願いして本当に原稿が集まるのか?と随分ご心配をお掛けしました。また、共同企画者の野村さんには貴重なご意見とご助言をいただきました。ここに改めてお礼を申し上げます。

本企画は、「特集にあたって」でも申し上げましたように、ご自由にご執筆いただくようお願いしてスタートしましたので、学問のあり方とか思想のような基本的なことから、我々の生き方や生活のあり方についての議論、さらには具体的な最先端の研究内容にまで言及したもので、極めて幅の広い内容となっております。どうか、読者の皆様方の頭の中でこれらが関係性の網の目に紡がれ何らかの参考にしていただければ望外の喜びとさせていただきます。

参 考 文 献

- 1) O. Katai, M. Ida, T. Sawaragi and S. Iwai: Treatment of Fuzzy Concepts by Order Relations and Constraint-Oriented Fuzzy Inference, Proc. of NAFIPS'90, pp.300-303, 1990
- 2) 北村、片井(編): 画像と制御、朝倉書店、1991
- 3) 片井、井田、榎本、岩井: 順序制約構造に基づくファジィ集合概念と推論の定式化、計測自動制御学会論文集、第28巻、第1号、pp.30-39、1992
- 4) 日本ファジィ学会編: 知識情報処理とファジィ、日刊

図21 関係の成り立ちと統合の形態から見たシステムの分類

- 工業新聞社、1993
- 5) 堂下、菅野、馬野、片井他：AI・ニューロ・ファジィ (人工知能学会創立5周年記念座談会)、人工知能学会誌、第6巻、第4号、pp.482-500、1991(日本ファジィ学会誌、第3巻、第3号、pp.433-451、1991)
 - 6) 片井、井田、榎木、岩井：区間制約ファジィ推論法による倒立振子の制御と車両移動計画の生成、計測自動制御学会論文集、第28巻、第1号、pp.30-39、1992
 - 7) 片井他：目標分解と遺伝アルゴリズムによる倒立振子の制御、第18回システムシンポジウム(計測自動制御学会システム/情報関連合同シンポジウム)講演論文集、pp.97-103、1992
 - 8) 片井、堀内、榎木、岩井、平岡：ファジィ記号力学系のカオス構造と問題解決、第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp.395-398、1994
 - 9) O. Katai, T. Horiuchi, T. Swawaragi and S. Iwai: Decentralized Constraint-Oriented Problem Solving Based on Fuzzy Coding of Complex Constraints Involving Continuous Variables, Proc. of 6th IFSA World Congress, pp.133-136, 1995
 - 10) O. Katai, T. Higuchi, et al.: Self-Organizing Fuzzy Control Systems by GA-Based Group Selection of Constraint-Interval Control Rules, Proc. of 7th IFSA World Congress, Vol. III, pp.249-254, 1997
 - 11) 増市、片井、榎木、西山、岩井：問題解決のための階層型自律分散システムの構成、計測自動制御学会論文集、第28巻、第11号、pp.1364-1373、1992
 - 12) 片井、松原、増市、榎木、片山、岩井：記号処理・ファジィ推論融合型問題解決の枠組み、第9回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp.521-524、1993
 - 13) 片井、堀内、松原、榎木、岩井：連続変量・ファジィ制約を含む制約充足問題解決のための自律分散システム、計測自動制御学会論文集、第31巻、第5号、pp.640-649、1995
 - 14) 西原：整合ラベリング問題とその応用、情報処理、第31巻、pp.500-507、1990
 - 15) 片井：ソフト・コンピューティングよりエコロジカルな計算原理を求めて、日本ファジィ学会誌、第6巻、第5号、pp.871-872、1994
 - 16) O. Katai, T. Horiuchi, T. Swawaragi and S. Iwai: Chaotic Behavior of Fuzzy Symbolic Dynamics and Its Relation to Constraint-Oriented Problem Solving with Hierarchical Structures Reflecting Natural Life, Proc. of FUZZ-IEEE/IFES'95, pp.1955-1962, 1995
 - 17) O. Katai, T. Horiuchi and T. Sawaragi: The Cause and Meaning of Chaos Phenomena in Symbiotic Problem Solving Uniting Natural System Redundancy and Artificial System Logicality, Proc. of International Symposium on System Life, pp.253-262, 1997
 - 18) B. モリソン：パーマカルチャー—農的暮らしの永久デザイン—、農文協、1993
 - 19) 福岡正信：自然農法、春秋社、1985
 - 20) F. カブラ、E. カレンバック：ディープ・エコロジー—持続可能な未来に向けて—、佼成出版社、1995
 - 21) A. ネス：ディープ・エコロジーとは何か—エコロジー・共同体・ライフスタイル—、文化書房博文社、1997
 - 22) D. ボーム：全体性と内蔵秩序、青土社、1996
 - 23) 早瀬：日本型フィランソロピーを求めて、第1回企業市民ネットワーク資料、1993
 - 24) W. R. Scott: Organizations—Rational, Natural, and Open Systems, Prentice Hall
 - 25) 大阪科学技術センター編：人間にあたたい製造文化に関する調査研究報告書—工場環境編—、pp.II-137-II-181、1994
 - 26) 池上：文化経済学のすすめ、丸善、1991
 - 27) 通商産業省編：近代化の忘れ物—感性豊かな社会を目指して—、共同通信社、1994
 - 28) 藺岡：デザインする時間、中央法規出版、1993
- (1997年11月15日 受付)

[問い合わせ先]

〒606-8501 京都市左京区吉田本町
 京都大学大学院工学研究科
 精密工学専攻
 片井 修
 TEL : 075-753-5201
 FAX : 075-753-5042
 E-mail: katai@prec.kyoto-u.ac.jp

—— 著 者 紹 介 ——

片井 修 (かたい おさむ)

京都大学大学院工学研究科精密工学専攻
 1969年 京都大学工学部機械工学科卒業。同修士、博士課程を経て、1974年 京都大学工学部精密工学科助手。1980-81年 フランス国INRIA(国立情報処理・自動化研究所)客員研究員。1983年京都大学工学部助教授、1994年同教授。現在、同大学院教授。本学会との関連では、その前身のひとつである、あいまい科学研究会に創設時より参画し、1984-85年同会幹事。また、学会誌の創刊号より編集に携わり、現在同会誌編集委員長。知能や生命の働きを背後で支える仕組みについてシステム論からの理解に興味をもつ。また、自然システムと人工システムの調和のとれた関わり合いのあり方についても模索している。