

安全とファジィ ～どこまでやったら安全か～[†]

向殿 政男*

1. はじめに

安全とファジィを両方とも専門分野の一つとしていると、常に質問をされる。安全は確実に実現しなければならないが、ファジィというのはいい加減であいいでも良いということ、両者は矛盾している。安全をファジィで実現されたのでは心配ではない。研究者としてどのように考えているのか、という趣旨である。もっともな質問である。しかし、私の中では両者は連携しており、深く結び付いている。

安全か否かという問いは2論理的問いである。しかし、現実の安全に対する我々の対応はファジィ論理的である。もう少し詳しく述べよう。事故が起きないような安全なシステムを確実に実現しろという要求は2値論理的、確定論的要求である（事故が起きた、起きないという結果も、また、2値論理的である）。事故が起きる前のシステムの安全性には不確実性があり、広い意味での確率的側面を免れることが出来ない。事故の発生が確率的なだけでなく、更に、事故の被害の大きさの評価には主観的なあいまいさを免れることは出来ない。目指すべき完全な安全は2値論理であっても、現実の安全はファジィ論理というのはこういう意味である。システムを現実に設計、運用する場合には、条件の範囲内で、出来るだけ安全にすることを目指しているとしか答えられない。“出来るだけ安全に”などとあいまいなことを言うなという批判に対しては、リスクという大きさをもった概念を用いて危険性を評価し、それが基準を超えているか否かで安全であるか否か判断をするという形を取って、説明責任を果たそうとしている。この面でもまた出来るだけ客観的に、合理的に判断するようにしている。その基準はどのように決めるかという、これもまた出来る範囲内で科学的な根拠に基づいて決めるように努める。しかし、現実には、そのシステムから受けるメリットや社

会的な状況によって、時には個別に、主観的に決められる場合が多い。社会的合意が重要となる場合もある。このように、安全にはどうしてもあいまいさが付き纏う。素朴な意味での現実の“安全である”という概念は、歴史的経緯や社会的状況の中で自然に決まっていくなのかもしれない。一方、“安全であると宣言する”ためには基準が必要であり、その基準を持っていることに意味がある。“安全である”とは、こういう概念なのである。例えば、学生が大学を卒業できるか否かの判断は2値論理的であるが、現実の学生の優秀さ度合いはファジィ論理的であるのと同様である。この説明で納得をして頂ければ幸いであるが、そうもいかないかもしれないので、もう少し詳しく述べるのが本稿の目的である。

まず、安全を論理の面から眺め、リスクの概念を通して安全は許容可能なリスクしか残されていない状態と定義されることを紹介する。この度の福島原発の事故と放射線被害は、わが国の安全と安心に大きな衝撃を与えたが、次に、このことを例題に、安全とファジィの関係について考えてみる。原発のようにリスクの大きなシステムについては、安全の観点からはフェールセーフという考え方が極めて重要であるが、こう記して来て思い出した。約20年前に、本誌に「フェールセーフとファジィ理論」[1]という解説を書かせて頂いた。その内容は、本稿とも深く関連していて、そこで提案しているフェールセーフで、フォールトトレラントで、かつ、ファジィなシステム(F^3 :トリプルFシステム)の考え方は、いまでも有効であり、古くなっていない。これについても最後に、安全と安心の関係と共に触れることにする。

2. 安全と論理

安全の反対概念は危険である。安全か危険かのどちらかしかないとするれば、2値論理になる(図1)。否定($\cdot \cdot$ でない)を表す論理記号 \sim で表わすとすると、 \sim 安全=危険、 \sim 危険=安全となる。集合論的に解釈するならば、否定は補集合演算になる。安全である事象の集合と危険である事象の集合の和集合が全体集合に

[†] Safety and Fuzzy ~ How safe is enough safe ~
Masao MUKAIDONO

* 明治大学理工学部情報科学科
Faculty of Computer Sciences, Meiji University



図1 安全か危険か (2 値論理)

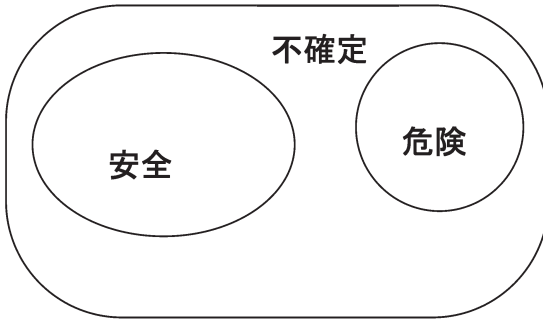
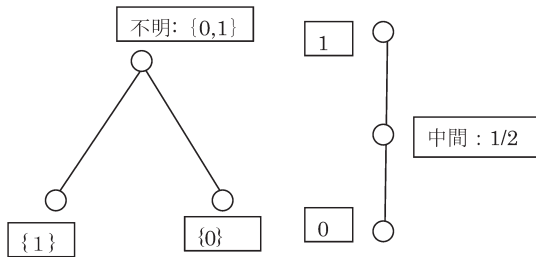


図2 安全か危険か不確定か (3 値論理)



図3 安全と危険の中間領域 (ファジィ論理)



(a) 1 (真)か 0 (偽)か不明 (b) 1 (真)と 0 (偽)の中間

図4 真理値として見た場合の不確定

なり、安全の確率は、 $|安全| / (|安全| + |危険|)$ となる。確実に安全を実現しろという要求は、 $|危険| = \phi$ (空集合) を意味している。ただし、ここで $|*|$ とは、集合*の濃度(個数、面積等)を表す。事象の集合さえ分かれば、上記の話は2値論理と集合論と確率論、すなわちブール代数で片付く世界であろう。しかし、現実には、安全である(または危険である)という状態を明確にすることができず、不確定である。ここにおける不確定とは、いくつかの意味を有しているが、典型的なのは、次の二つであろう。ま

ず、安全か危険かが分からない事象が存在する場合である(図2)。これは論理的には3値論理となる。もう一つは、安全か否かは度合い付きでしかいえず、危険と安全との間には度合いとして連続性があり、安全(1)と危険(0)との中間にどちらとも言えない領域が存在する、という不確定さである。図2の集合をファジィ集合と考えることに相当して、これを真理値として考えると図3のように、ファジィ論理となる。これらの不確定な領域を単に不確定と呼ぶ(不安の領域と呼ぶ人もいる)ことにし、両者を3値論理的に解釈してみる。前者の場合、論理的に書くと、 $\sim(\text{安全}) = (\text{危険}) \vee (\text{不確定})$ 、 $\sim(\text{危険}) = (\text{安全}) \vee (\text{不確定})$ となるが、後者の場合、2値論理を特殊な場合として含み、 $\sim\text{安全} = \text{危険}$ 、 $\sim\text{危険} = \text{安全}$ 、かつ、 $\sim(\text{不確定}) = (\text{不確定})$ となる。前者は、集合論に基づいており、確定論的である。後者はファジィ集合に基づいており、ファジィ論理的である。真理値として見た場合には、前者の不確定は、真理値として“1(真:安全)か0(偽:危険)か不明”(分かってしまえば、本来は1か0になるはず)というという意味であり(図4(a))、後者の不確定は、“1(真:安全)と0(偽:危険)との中間の度合いである”(分かってしまっても、1とも0とも言えない)という意味である(図4(b))。安全を論理的に、特に多値論理として追求することは興味ある課題であるが、紙面の都合でこれ以上は言及しないことにする。ただし、上記に関連して、次のことだけは述べておきたい。例えば、システムの安全を実現するための安全装置の構造について考えてみる。センサー等を用いて危険であることを検出したら、その情報に基づいてシステムを止める、人間は逃げる等の事故回避操作に繋げて安全を確保する考え方を危険検出型と言う。逆に、安全であることが確認されているという情報を受けた時だけ危険を伴う作業を許可し、確認できない時には許可しないで安全を確保する考え方を安全確認型という。結果は安全か危険かの2値論理であるが、これを3値論理としてみた場合、危険検出型では不確定領域を安全領域と見なしてしまい、安全確認型では不確定領域を危険領域と見なしていることになる。安全確認型に基づいて、センサー等が故障した時には確認信号が出ないように(非対称故障という)構成しない限り、システムのフェールセーフ化は実現できないことが知られている[1]。

上記の二つの不確定の解釈において、後者ではどのように安全の度合いを数量的に定義するのかということが問題になり、リスクという概念が必要になってくる。そして、どこから安全と不確定の境とするのか(及び、危険と不確定の境とするのか)という問題が生

じ、ファジィ理論と深く関係することになる。本稿では、主に、後者のこの解釈で論を進めていくことにする。

3. 安全とリスク

安全の反対概念は危険であると述べたが、危険が一つ一つ指摘できるのに対して、安全はそれらが存在しないことという否定形で表現されるため、安全を具体的に指摘することが困難で、難しい概念となっている。安全と言っても、絶対に安全である(絶対安全)と言っている訳ではない。現実にはそんなことはあり得ない。現在、JIS[2]では安全は、「人への危害または損傷の危険性が、許容可能な水準に抑えられている状態」と定義されており、国際安全規格[3]では、「受け入れ不可能なリスクが存在しないこと」(Freedom from Unacceptable Risk: 受け入れることの出来ないリスクからの開放)と定義されている。ここでの大事なことは、絶対安全は存在しないことを宣言していることである。危険性はゼロにはならず、安全といっても、危険性が許容可能な水準に抑えられているだけなのである。この危険性の度合を国際安全規格ではリスクという概念を用いて表現している。残留しているリスクの程度がすべて受け入れられると認められた時に安全であるという定義である。JISにおける定義の“人への危害または損傷の危険性”がリスクの概念に相当している。ここで問題なのは、リスクとは何かであり、また、許容可能なリスク、受け入れられるリスクとは何かである。まず、安全におけるリスクについて紹介しよう。

リスクとは、機械安全の世界では、“危害の発生する確率及び危害のひどさの組み合わせ”と定義されている[3]。安全の世界でのリスクの定義は、本質的にはほとんどこの定義と同じである。確率にも大きさがあり、危害にも大きさがあるので、その組み合わせで表現されるリスクにも大きさがある。現実には、リスクの大きさはどのように評価するのであろうか。発生確率が数値として明確に与えられていて、ひどさを被害規模の金額で表現し、組合せを掛け算とすると、リスクは

$$\text{リスク} = \text{発生確率} \times \text{被害金額}$$

となり、金額で評価されることになる。保険や金融では、このように評価される場合があるが、一般の安全に関してはこう簡単には割り切ることが出来ない。

現実には、確率もひどさも厳密な数値として表現することが出来ないのが、通常は、大きさによるランク付けをする。以下にマトリックス法と呼ばれる例を示そう。危害の発生確率(確率というには荒っぽすぎる

ので、以後、頻度と記すことにする)、すなわち頻度を、例えば、5段階に分けて、ランク1:信じられない頻度(1000年に1回程度)、ランク2:ほとんどない(100年に1回程度)、ランク3:あり得る(10年に1回程度)、ランク4:時々(1年に1回程度)、ランク5:よくある(1か月に1回以上は起きている)、としよう。危害のひどさも例えば4段階に分けて、ランク1:無視可能(かすり傷程度)、ランク2:限界ぎりぎり(病院に行けば治癒する程度)、ランク3:重症(後遺症が残る程度)、ランク4:破局的(死亡)、としよう。この二つの組合せから、リスクの大きさを決める。リスクもランクに分けて、例えば、ランク1:無視可能(気にする必要がないか、ばかばかしいほど小さい)、ランク2:許容可能(メリットを考えると仕方がない)、ランク3:望ましくない(リスクを低減しない限り使用してはならない)、ランク4:許容不可(到底許されない)、の4段階に分けるとしよう。ただし、カッコの中の解釈は、例であり、システムや機械によって異なる。結局、リスクの評価とは、危害の頻度のランクとひどさのランクの組合せから、リスクのランクを割り当てることに相当する。表1にこのマトリックス法の例を示す。ここで、各ランクの境はファジィである。厳密な境界ではない、更に、与えられた、または想定した頻度やひどさがどのランクに入るかについては、現実には基準を設定して分類するようにするが、主観やあいまいさを排除することは出来ない。更に、頻度とひどさの組合せに対して、どのようなリスクのランクを割り当てるかに主観性とあいまいさがある。リスクのランクが1と2の場合を安全であると定義するとしても、現実には、このように安全であるという概念とファジィとは切り離せない関係にある。ここで最も重要なことは、許容可能なリスクのレベル(表1で言えばリスクランクの2をどう決めるかという問題である。なお、許容可能でない場合には(上の例では、リスクのランクが3と4)、リスク低減

表1 リスクマトリックスの例

リスクランクの解釈		リスクのランク分け					
		ひどさ	1	2	3	4	
ランク	解釈	頻度					
	1	無視可能	1	1	1	1	
	2	許容可能	2	1	1	2	2
	3	望ましくない	3	1	2	2	3
4	許容不可	4	2	2	3	4	
		5	2	3	4	4	

策が施されてランクが1, または2になるまで開発禁止, 使用禁止や発売禁止処置がなされる。

4. 許容可能なリスクと安全目標:

許容可能なリスクの大きさは, 現実には条件により, 個別のシステムにより異なり, 一意的には決められるようなものではない。例えば, 赤ちゃんが使うものは, 極めて小さなリスクしか許されない。一方, 自動車を考えてみよう。18歳以上で, かつ運転能力のないものには使用を許可しないという免許制度があり, この条件で自動車という大きなリスクを有する機械が, そのベネフィット(利便性)を考えて許され, 使われている。このように, 誰が使うのかという条件により, 例えば, 表1のマトリックスの中のリスクの値は異なる。また, 時代によっても許されるリスクの大きさは変わる。終戦直後の昔には許されたが, 今では危険として許されないものは多々ある。従って, 今は認められ, 許されているリスクの程度でも, 将来, 社会の安全の意識が上がるにつれて許されなくなる可能性は常にある。安全技術は常に進歩し, リスクは低減されて行くから, それに慣れて我々の意識が変化して低減されたリスクを常識として受け入れるようになると, それよりも高かったかつてのリスクは認められなくなるからである。

国際安全規格では, 許容可能なリスクとは, “その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で, 受け入れられるリスク”[3]と定義されている。時代によっても, 価値観によっても, また, 与えられた条件によっても異なるとしていて, この状況を良く表している。

個別のシステムに関して, 具体的にはどのようにして許容可能なリスクが決められるのであろうか。最もよく用いられている判断基準は, 既に安全として用いられているものと同水準かまたはそれ以下ならば許容するという比較に基づく考え方である。例えば, 原子炉の安全では, 原子炉事故による放射線が原因でガンで死亡する確率が, 自然放射線によってガンで死亡する確率と比べて格段に小さい(例えば, 100分の一程度)ならば許容する(これを安全目標と呼ぶ)といった考え方である。もう一つの考え方は, リスク・ベネフィット基準と呼ばれるもので, それから受けるベネフィットを考えてそのリスクを許容するか否かを判断するもので, 医療関係では必須の考え方だと思われる。また, コスト・ベネフィット基準と呼ばれるものもあり, 安全に掛けるコスト(費用)に対してそれから受けるベネフィットが見合うかいかで許容可能かを判断する考え方がある。

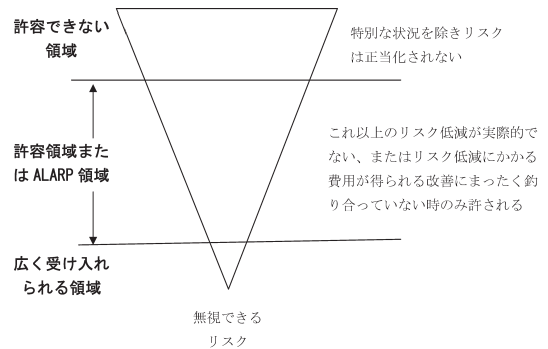


図5 許容可能なリスクとALARP領域

許容リスク以下ならば, もうそれ以上努力をする必要はない, という訳ではない。よく知られているALARP (As Low As Reasonably Practicable)の原理というものがある(図5参照)。許容できないリスクはもちろん認められないが, また, 無視できるほどのリスクならばそのままでもよいが, その間のリスクに関しては, ALARP領域として, 出来る限りリスクの低減に努力しなければならないとするものである。その時, どこまで努力すべきかという点, これ以上のリスク低減が合理的でなくなるまで, すなわち, これ以上のリスク低減が機能やベネフィットをなくなってしまうとか, コストを掛けてもこれ以上のリスク低減は望めなくなるまで, リスク低減を試みるべきであるという原理である。ALARP領域は, まさしくファジィな領域である。

5. 安全と想定外

少し, 話題を変えよう。今回の東日本大震災の地震, 津波, 福島原発事故で話題に上った想定外という言葉も, 安全における不確定さに関係しているので, ここで考えてみることにする。想定外というけれども, その意味するところは, 実はかなり不明確で, 色々な場合があり得る(表2)。

本当の意味での想定外とは, 未知による想定外, すなわち, これまで誰も知らなかった, 誰も予想していなかった, 科学的にも明らかにされていなかったという新しい事実が発生した時である。現実にはこんな事

表2 想定外の分類

(1) 未知による想定外
(2) 無知による想定外
(3) 無視による想定外
(4) 基準による想定外

は減多にない。震度9の地震も、15メートルの津波も、原子力発電の全電源喪失も、想定は出来る。事実、これらは世界のどこかで既に経験をしているからである。この本来の意味での想定外がもし発生したとすれば、それは新しい発見である。この意味での想定外を知った時には、新たに安全対策を研究しなければならない。今後の安全技術の発展に大いに貢献することになるだろう。これに対してよくある想定外は、無知による想定外である。色々予想してみたが漏れてしまった、気が付かなかった、知らなかった、調査が足らなかった、というものである。例えば、その分野の専門家に聞けば常識であるのに聞かなかったり、専門家が見つからなかつたりして、自分の知識の範囲内で判断したことにより、結果的に既に知られている事実を無視したことに起因するものである。努力不足や独善によるもので、避ければ避けられた想定外である。更に、もう一つの想定外に、無視による想定外がある。実は想定はされていたのだが、または、指摘されていたのだが、無視をしたという想定外である。コスト等から考えて、そんなことをするのは馬鹿げていると思った、あり得ないほどの頻度だと思った、想定するのは現実的でないと思った等々の理由から無視をしたものである。言い訳として使われる想定外は、この場合が多いようである。

最も重要な想定外は、基準による想定外、すなわち、想定はしたが安全対策をしないと判断したという想定外である。コスト、機能、リスクの大きさ、等々を考慮して、ある安全基準に基づき、その事象に対して安全対策を施す必要がないと判断をした、許容リスクの範囲内と判断した場合である。この判断は、価値観に基づくものである。判断の根拠を事前に公開しておく必要がある。残留リスクを公開し、最悪の場合、どんなことになるかを明らかにしておく必要がある。安全の責任は、これらを事前に明らかにして情報を公開しておくところにある。もし、新しい条件や新しい事実や新しい技術が見出された時には、また社会の安全要求の度合いが変わった時には、早急にこの判断のための安全基準を見直して、新しい安全基準で対応するか否かを判断しなければならない。これが想定外に対する最も現実的な対応である。

想定外は常に存在する。神でない人間の身、何が起るかすべてを想定できないからであり、また、如何に確率が小さくても、起きる可能性はゼロではないからである。第一、システムを設計したり、製造したりする時、常に条件を明確にする。明確にしない限り、設計も製造も出来ない。マニュアルを作成するときも同様で、条件を設定して対策を記述する。条件を明確

にする、設定するという事は、仮定をする訳で、その仮定以外、条件以外が必ず存在する訳である。それがそのシステムにおける想定外であり、この意味からも、想定外は常にあり得る。従って、想定外のことが必ず起こると考えてその対応策、いわゆる過酷事故に対する対応策を考えておく必要がある。想定外が起きた時にも同程度に安全対策を施せというのではない。想定外の事故が起きた時の被害を少なくする対策、過酷事故が起きた時の準備と訓練は必須であるということである。そういう意味では、“想定外を想定”しておかなければならない。今回の東日本大震災による被害、特に福島原発事故は、どの想定外に相当するのだろうか。あと知恵ではあるが振り返ってみると、未知によるものではないことは明らかである。無視が基準によるものであろう。安全基準はあったがその想定が甘かった、周囲の指摘を無視し、最新の知見、情報、技術に対して安全基準を見直さなかったことによるのだろう。想定外の準備をしておかなかったことも大きな問題であった。また、指摘を生かそうとか、安全基準を見直そうとか、想定外を想定しようということをとめらう、または言い出しにくいような社内、政府内、社会の風土があったと思われる。我々は今回の福島原発事故から、安全を総合的に統括的に眺める安全学の視点が必要だったのか、リスクコミュニケーションが不足だったのか、安全思想や安全文化の未成熟だったのか、等々、何か新しい知見を学び、将来に生かさなければ、被害に遭った人々に対しても、恐怖と心配と不信を抱かせた世界の人々に対しても、申し訳ない立場にある。

想定外を安全とファジィの論理から簡単に眺めてみよう。集合論から言えば、未知や無知による想定外は、全体集合にはじめから含まれていなかった事象である。無視や基準による想定外は、故意に全体集合から外した事象である。ファジィ論理から眺めると、地震・津波・原発事故は被害のひどさ大きさからいえば明らかに危険な事象であるが、その発生確率との組合せでリスクを評価すると、危険性の度合いは低い、すなわち、無視できるか許容可能なリスクと見なされたことになる。今回は、この判定基準に問題があったと言わざるを得ないだろう。いかに発生確率が低くても、被害が甚大な場合には、無視する訳にはいかないだろう。少なくともALARPの領域として、常にリスク低減の対象とすべきであろう。例えば、表1のリスクマトリックスで言えば、頻度1(信じられない頻度)でひどさ4(許容不可)のリスクの大きさは、この例では1(無視可能)となっているが、被害が甚大な場合には、少なくともここは2(許容可能)以上に割り当てる

べきであろう。リスクは頻度とひどさの組合せで、条件を考えてシステムごとに決めるべきであるというのは、このように個別に考えて対応することを意味している。

6. 安全と安心～低線量の放射線被害を例にして～

安全と不確定の関係でもう一つ、今回の東日本大震災で話題になった問題に低線量の放射線被ばくがある。東京から逃げ出して帰ってこない外国人や、子どもを抱えたお母さん方の放射線に関する反応は、過剰であったり、パニック状態であったといわざるを得ない面があるのではないだろうか。目に見えないものに対する恐怖、将来の影響に対する漠然たる不安、新聞、テレビ、週刊誌がセンセーショナルに伝え、情報や専門家でも異なる情報発信の内容に対する不安、等々、ある意味では当然と思われる反応かもしれない。低線量の放射線に関する安全性に対する不安は、情報の不確かさ、基準の設定に関するあいまいさ、及び関係者に対する信頼の失墜等が原因と思われる。安全と不確定さの関係について、一つの興味ある例題を提供してくれている。

低線量の放射線被ばくについては、科学的に何が分かっているのか、何が分かかっていないのかという事実を、根拠を明確にして、信頼できる機関なり人物なりが、情報公開すべきであった。そして、それに基づいて、国や公的機関は安全であるというレベルを安全基準(規制値)として明確に設定すべきである。それを認めた上で、各人が、安全であるか否かを国や公的機関の判断に従ってもよいし、自分の価値観に基づいて主観的に判断してもよい。例えば、低線量の放射線被ばくについては、現時点で明確にされている科学的事実、年間100ミリシーベルト以下の放射線被害では、ガンが発生するか否かの科学的根拠が得られていないということである。ここで、ガンが発生するか否かが分かかっていないという意味は、ガンが発生するという根拠が得られないほど影響が小さいということであり、かつ、影響がないとも断定できないという意味である。これをただ単に、2値論理的にガンが発生するか否か不確定である、ということではない。危険性に度合いがあるというファジィ論理的解釈に基づかなければこの真意は伝わらない。一方、放射線量の安全基準は現在、以上の様な事実に基づいて、次のように決められている。年間100ミリシーベルトで影響があると断言出来ないならば、安全サイドを取って、その100分の一の年間1ミリシーベルトを以て安全基準と設定している。この決定は、世界平均で年間2.4ミリシー

ベルトの自然放射線を我々は毎年浴びているという事実や、医療では一回の診断でかなりの放射線を受ける(例えば、CTスキャンでは、一回の診断で数ミリシーベルトを被ばくするといわれている)ことを考えると、極めて安全サイドに決められた値であると考えられる。100ミリシーベルトでガン患者の数が現在のガン患者よりも0.5%増加するという情報は、いくら小さな放射線でも被害があり、かつ、閾値はない(これらについても科学的な根拠はないようである)として安全側に仮定した時に、広島・長崎での高線量の被爆量・それは短時間で数シーベルト(数1000マイクロシーベルト)というオーダー・を基に、線形に低線量の放射線領域まで外挿して予測した値であって、科学的には実証されている訳ではないようである。安全基準は決めることに意義があり、一端、基準が決められたら守ることが重要である。安全基準は出来るだけ科学的根拠に基づくことが望ましいが、1ミリシーベルトを上限とするという安全基準については、上記のようにそれほど明確な根拠はないようであり、かなり厳しく低めに決められているという感じがする。このような事実を冷静に判断して、各人がそれぞれの価値判断に基づいて行動を決定すべきである。現時点での放射線量がこの基準の2～3倍高かったからといって、あわてる必要はないのは明らかである。“直ちに健康に影響するレベルではない”とはこういう意味であるが、“直ちに”とは“いつかは”影響が出るという意味と解釈するのは、明らかに曲解、言いがかりであろう。事故直後には、規制値を通常時の10～20倍程度に設定し、線量が下がってきたら徐々に下げて設定し直すということは、規制値が経済活動に与える影響や移住させられる民衆に与えるストレス等を考えると現実的な対応である。これをあいまいで場当たりの、いい加減だ、と非難する人が居る。前の判断が間違えだったのかとか、基準が変わると混乱するとかの非難は、緊急時には当てはまらない。確かに科学的事実が変わってはいないが、それに対する価値判断は、状況により、人により変わり得るという事実を考えれば、規制値を徐々に下げて行くことは、妥当な処置である。このような柔軟な対応はファジィ論理的な発想であり、2値論理的発想からは生まれてこない。我々はこれらの状況を冷静に判断する必要があり、そのための科学リテラシーを養うべきである。

不安の反対概念は安心である。安心こそ、主観的であり、個人によって異なる。最後に、安全と安心との関係について簡単に触れておく。技術者、企業、規制当局は、安全の実現を求めて懸命に努力をしている。一方で、一般民衆や消費者は、安心を求めている。安

全は、客観的、合理的、科学的に実現することを目指しているが、安心は主観的なものであり、判断する主体の価値観に強く依存する。どこまでリスクを低減したら安全とするかという点においては、これまで述べてきたように安全から主観を完全には排除できない面はあるが、残されたリスク、すなわち危害が起こる確率と共に、最悪の場合の危害がどのようなことになるかを明示して、許容可能性を合意するという面からは、安全には客観性を重視する姿勢が貫かれている。安全はどのようにしたら安心につながるのだろうか。それは、安全を実現している組織や人間を信頼することを通して、初めて安全は安心につながる、単純化すると、 $(安心) = (安全) \times (信頼)$ という式が成立すると考えられる。いくら安全を実現し、主張しても、主張している人間や組織が信頼されていなければ安心には繋がらない。信頼を得るには、良い情報はもちろんだが悪い情報も含めた情報の公開性が、そして、正直に、即座に、そして情報を隠さないという姿勢が最も重要である。安全であるといった場合、大事なことは残されているリスクが最悪のケースを考えてどのようなものであるか、事前に情報開示しておく必要がある。安全を合理的に、客観的に判断するためには必須のことだからである。安全と安心は明確に分けるべきである。すなわち、安心には価値観が関与している。客観を重視する科学(安全)と価値観(安心)は分けて考えるべきだからである。特にリスクが高く影響の大きなシステムに関しては、安心が得られない場合には、いくら科学的に安全であっても、使わない、作らないという判断はあり得る。今回の福島原発事故や低線量の放射線被ばく問題は、この点に関して我々に考え直す良い機会を与えたのではないだろうか。今回の東日本大災害で脚光を浴びた寺田寅彦の“ものをこわがらな過ぎたり、こわがり過ぎたりするのはやさしいが、正當にこわがることはなかなかむつかしいことだ”という言葉は、安全とファジィの観点からも、含蓄の深い内容であることを改めて感じた。

7. あとがき

安全とファジィとの関係には、いくつかの側面がある。その一つに、本稿では詳しく述べる余裕はなかったが、まえがきで記したように20年前の解説で提案したリスクの大きなシステムの安全設計思想への適用がある。このことについて最後に簡単に触れておこう。

安全設計において最も重要な考え方であるフェールセーフと、あいまいさを許容することを目指すファジィ理論との関係について、文献[1]に従って、もう一度振り返ってみよう。特に大きなリスクを有するシ

ステムを設計する場合には、安全を目的にフェールセーフ設計を第一とするのが基本であるべきである。その上でフェールセーフを利用しなくて済むように高信頼を目的にフォールトトレランス技術を用いて信頼性高く構築する必要がある。システムを支えるこれらの基盤は利用者や運用者が意識しなくても、その上で安心を目的に人間にやさしく、間違えても柔軟に対処するファジィな構造をもつという三層構造とすることが理想である[1]。図6では、最上位の部分を柔らかい情報処理を意味してファジィ技術とし、トリプルFシステム(F³)と呼んでいる。必ずしもすべてのシステムに対してフェールセーフ構造が実現できるわけではないかもしれないが、リスクの大きなシステムに関しては、少なくともこの構造を基本とすべきことが提案されている。

例えば、原子力発電の場合には、全電源を喪失すると安全の制御ができなくなり、フェールセーフになっていない。フェールセーフが基本として構築されていない場合には、多重防護などのフォールトトレランス技術に頼っていくことになるが、いくら高信頼であると言っても、すべてが駄目になる可能性はゼロではないことに注意すべきである。

安全とファジィの関係で、もう一つ重要なのが、本稿で紹介した、どこまでやったら安全か、という目標にファジィの概念を適用することである。どこまでやったら安全かという問題は、許容可能なリスクをどこに設定するかの問題である。それは本文で紹介したように、“その時代の社会の価値観に基づく所与の状況下で、受け入れられるリスク”[3]であり、そのレベルは時代と共に変わるだけでなく、価値観に依存した主観的要素が入り込まざるを得ない。確率論では方が付かない世界であって、ファジィ理論が活躍する最適な場のように思える。

以上、多少こじ付け的かもしれないが、縷々と紹介

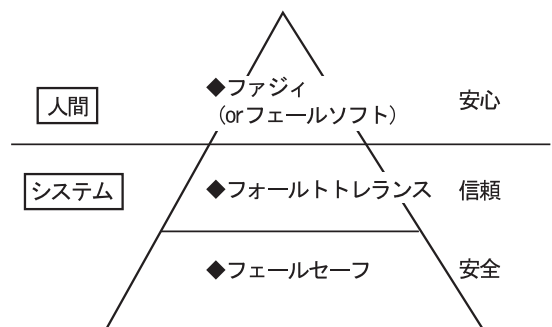


図6 F³システムの提案 [1]

して来たような観点から、私の中では安全とファジィは深く結び付いている。御理解が頂けたであろうか。今後、安全の世界にファジィ理論がどのように貢献して行くかについての研究は、まだ、始まったばかりというよりは始まってもない。是非、ファジィ理論研究の若い人達が、この分野で活躍されることを期待したい。

参 考 文 献

- [1] 向殿政男, フェールセーフとファジィ理論, 日本ファジィ学会誌, Vol.5, No.5 [pp.947 ~ 957] 1993年10月

- [2] JIS Z 8115, ディペンダビリティ (信頼性) 用語, 2000
 [3] ISO/IEC ガイド 51 (JIS B 8051 2004), 安全面一規格への導入指針, 1999

(2012年3月7日 受付)

[問い合わせ先]

〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田1-1-1

明治大学理工学部情報科学科

向殿 政男

TEL : 044-934-7450

FAX : 044-934-7912

E-mail : masao@cs.meiji.ac.jp

著 者 紹 介



むかいどの まさお
 向殿 政男 [正会員]

1942年生まれ。1965年明治大学工学部電気工学科卒業。1970年明治大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。工学博士。1970年明治大学工学部電気工学科専任講師。1978年同電子通信工学科教授。現在、明治大学理工学部情報科学科・理工学研究科新領域創造専攻安全学系教授。その間、2002年より6年間、理工学部長を務める。研究としては、フェールセーフ論理やファジィ論理、機械安全・労働安全・製品安全等の研究を経て、現在は、安全学を提唱している。日本ファジィ学会会長、日本信頼性学会会長等を歴任して、現在、経済産業省製品安全部会部会長、国土交通省昇降機等事故調査部会部会長、消費者庁参与を務めると共に、私立大学情報教育協会会長、明治大学校友会会長。