

モノづくりにおける安全と安心の関係

—安全・安心の方程式—

The Relationship between Safety and ANSHIN in Manufacturing

— Equation of Safety and ANSHIN —

向殿 政男

Masao MUKAIDONO

概 要

安全と安心という言葉は、我が国では、だれでもが使っている一般的な言葉である。「安全・安心」と一緒に使われる場合も多いが、本来は、両者は異なった概念である。安全で安心な社会を築くには、信頼の構築が重要であることは古くから言われているが、本稿では、モノづくりの観点から、安全と安心をつなぐものは信頼であるという関係を安全・安心の方程式として表す。この方程式を通して、安全なモノを製造する企業と安心してモノを使いたい使用者との関係について考察する。また、この方程式は、定性的な関係を表しているだけでなく、数学的な方程式として考えても興味ある面を有していることも紹介する。

1. まえがき

安全も安心も、我々日本人にはなじみのある一般的で、日常的によく使う言葉である。よく考えてみると、両者とも、適用状況を限定しない限り、その意味と範囲はかなり曖昧である。安全については、工学的な観点からは、明確に定義され、研究されている場合が多いが、安心については、それほど詳しくは研究されていないと思われる。

本稿では、安全と安心の概念について振り返った後、両者の関係について簡単に触れる。モノづくりという環境に限定して、そこで成立すると思われる安全と安心の関係を、安全・安心の方程式として提案する。最後に、方程式における演算と方程式の応用について若干の考察を行う。

なお、しばしば、「安全安心」のように両者の概念を一緒にした、または一緒のものと考えた使い方が見られる。しかし、筆者は、安全と安心は、異なった概念であると考えていて、このことを表すために、「安全・安心」のように、両者の間に・を入れて使用することになっている。また、安心を先にして、安心・安全とする表記方法もあるが、モノづくりにおいては、まず、安全なモノを作ることが前提で、それを安心して使うという順番を重視したいの

で、常に、安全を先にして、安全・安心と記すことにしている。

2. 安全の概念

「安全」とは、通常、「危険でないこと」⁽¹⁾といわれているが、少し考えてみると、色々な疑問がでてくる。例えば、すべての「危険」がないことと解釈するのは、現実には無理がある。すべての危険を見出すことはほとんど不可能だからである。安全を語る時、何が危険なのか、すなわち「何から守るのか」という危険の源を限定する必要がある。さらに、危険にさらされる対象の「何を守るのか」、例えば、身体的危険なのか、精神的危険なのか、それとも財産的危険なのか、等々が分からなければ、安全であるかどうかははっきり言えない。さらに、例えば、安全を身体的な傷害を受けることと解釈しても、傷害にも程度がある。どのくらいの程度の傷害を受けるとき危険である、すなわち安全でないというのか、危険の程度を明確にする必要があるだろう。これは、逆に、安全にも程度、度合いがあることを意味していることになる。さらに、安全とは、今まで安全だったとか、今時点で安全であるということだけならば、安全か否かの判断は簡単にできる

かもしれないが、これからも安全であるという意味も含んでいるはずである。本来は、これからも安全であるか否かを知りたいのであり、それが安全の本質だろう。安全には、過去、現在、未来の時間的な関係も明確にする必要がある。これ以外にも、安全について疑問を持ち出すと色々なことが出てくる。

私たちは何の疑いも持たず、安全という言葉を日常的に使っているが、上記のように考えると、安全は、なかなか難しい概念である。色々な曖昧なところを、その時々に応じて、お互いに暗黙のうちに明瞭化して了解しあいながら、会話をしているに違いない。これは、幸福だとか平和だとかのような広い意味を持つ言葉の宿命なのかもしれない。

モノづくり等の工学における安全の目的は、技術によって安全を「どうやって守るのか」が第一である。曖昧な概念のままでは、安全を工学で取り扱おうとするのには無理がある。なるべく客観的に取り扱えるように、例えば、安全にも程度があると述べたが、安全の度合いやレベルを定量化する必要があるだろう。それが無理ならば、少なくとも順序付けられたいくつかのランク分けの安全の度合いが必要である。これらの試みは、安全に関連する多くの分野で行われている。ここでは、製品や機械類のようなモノづくりの分野における安全に関する定義について振り返ってみる。

製品、サービス、プロセス、等を対象とした安全規格を作るためのガイドラインとして、ISO/IEC ガイド 51⁽²⁾がある。そこでは、

安全とは、「許容不可能なリスクがないこと」と定義されている。安全は、リスクという概念を経由して、許容不可能（許容できない）リスクがないこととされている。許容可能なリスクしかないとき安全としていて、明らかにリスクゼロ（絶対安全）を要求してはいない。このように、安全は「リスク」と「許容可能」という二つの概念に分解されていて、ガイド 51 では、

リスクとは、「危害の発生確率及びその危害の度合いの組合せ」

許容可能なリスクとは、「現在の社会の価値観に基づいて、与えられた条件下で、受け入れられるリスクのレベル」

と定義されている。リスクは、上のように、危害の発生確率と危害のひどさの二つに分解されているので、ある程度の定量化やレベル化の可能性がでてくる。ここで、当然、危害とは何であるかを明確にし

ておく必要がある。これは、前述の「何を守るのか」に対応している。ガイド 51 では、

危害とは、「人への傷害若しくは健康障害、又は財産及び環境への損害」

と定義されている。これは、ガイド 51 で取り扱う範囲における危害である。危害の範囲は、安全を取り扱う分野に依存していて、広げてもよいし、狭めても構わないものである。例えば、現在のような情報化社会では、情報漏洩や個人情報への侵害のような情報に関する害を入れることもあるし、機械類の安全を対象としている国際安全規格 ISO12100⁽³⁾では、危害から環境の受ける害は除外されている。

リスクに関しては、前述したように、危害の内容を決めれば、危害が発生する確率とひどさに分解されているので、ある程度客観的、定量的に定義できる可能性がでてくる。ただし、「何から守るのか」の危害を発生させる原因、すなわち、何に対するリスクなのかを決めなければ、決定できない。例えば、製品安全でいえば、ガス機器に対するリスク、もっと狭くすれば一酸化炭素中毒に対するリスク、等々である。機械類の安全でいえば、プレス機械に挟まれるリスク、もっと広くとればエネルギーの大きさに関するリスク、等々である。これらの危害を発生させる原因は、一般に、危険源とよばれ、ISO12100 では、次のように定義されている。

危険源とは、「危害を発生させる（潜在的な）源」

以上の国際安全規格に見る安全関連の定義を表 1 に纏めておく。

危害の内容を決め、危険源を決めれば、リスクの大きさは前述のように、ある程度客観的、科学的に定義できる可能性がある。ただし、安全であるか否かを決めるためには、もう一つ、許容可能なリスクのレベルを決めなければならない。これは、許容可能なリスクの定義にあるように、時代とともに変わり、社会によっても異なり、誰が使うか等の与えられた条件によっても異なり、一意的には決められない。ここには明らかに価値観が関与している。現実には、製品や機械類等を使用する人の特性（専門家が使うのか、素人が使うのか、幼時が使うのか等）、それから受けるベネフィット（便益）、そこに存在するリスクの大きさ、リスク低減にかかるコスト、等々のせめぎ合いから決まるものである。リスクが大きな製品や機械類に関しては、最低基準として、安全基準の形で法律や規格として決められている場合がある。

表1 国際安全規格に見る安全関連の定義

安全 (Safety) ISO/IEC ガイド 51	許容不可能なリスクがないこと (freedom from risk which is not tolerable)
リスク (risk) ISO/IEC ガイド 51	危害の発生確率及びその危害の度合いの組合せ (combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm)
危害 (harm) ISO/IEC ガイド 51	人への傷害若しくは健康障害、又は財産及び環境への損害 (injury or damage to the health of people, or damage to the property or the environment)
許容可能なリスク (tolerable risk) ISO/IEC ガイド 51	現在の社会の価値観に基づいて、与えられた条件下で、受け入れられるリスクのレベル (level of risk that is accepted in a given context based on the current values of society)
危険源 (hazard) ISO12100	危害を引き起こす潜在的根源 (potential source of harm)

一般的に、許容可能なリスクのレベルの決め方、すなわち、どこまでリスクを下げたら安全かという安全目標の決め方については、筆者は、次の様な形が望ましいと考えている⁽⁴⁾。

- (1) 多くのステークホルダが、特に被害を受ける側が加わって、許容可能なリスクレベル（安全目標）を合意するように努めること
- (2) 合意のプロセス、到達した安全目標のレベル等の情報を公開すること
- (3) 最新の技術、情報、環境の変化等を反映して、常に、安全目標を見直すこと
- (4) 事業者は、許容可能なリスクを越えて、常に、より小さなリスクになるように努めること

以上のように、安全は、出来るだけ科学的に、客観的に、合理的に決めることを目指しているが、現実的には、許容可能なリスクのレベル（どこまでやったら安全か）については、価値観に基づいた面があり、主観を免れない点を含んでいる。しかし、安全には、決定のプロセスの公開等を通じて、客観的にとり扱おうという精神が貫かれている。

本項で紹介した安全の定義は、現在では、工学システムの多くの分野で、広く用いられている一般的なものとなっている。

3. 安心の概念

「安心」という言葉は、日本人であればほとんどの人が知っているし、日常的に使用している。国語の辞書には、安心とは、「気がかりなことがなくて、心が落ち着いていること」⁽¹⁾となっている。文部科学省の懇談会の報告⁽⁵⁾では、「人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること、自分が予想していないことは起きないと信じ何かあったとしても受容できると信じていること」といった見方が挙げられている。ここには、信じるという言葉が3回出てくる。

安心の反対の概念は、上の定義で言えば、「気がかり」である。気がかりをここでは広く「不安」ととらえることにすると、不安の要因には、色々なものがあるはずである。従って、安心であるといった場合には、何に対しての安心なのか、よって、何に対しての不安なのかを明らかにしなければ、意味は確定しない。この関係は、安全の反対語が危険で、危険にはいろいろなものが存在するのとよく似ている。安心に関しても、危険の場合の危険源と同様に、「不安源」なるものを分類、定義しないといけないだろう。また、安全と同様に、不安にも度合い（強さ）があり、ある程度以下の不安の時に安心とするという定義は、形式上成り立ちうるかもしれない。しかし、安全と根本的に異なるのは、上の定義からもわかるように、安心は、明らかに人間の心の状態を表しており、主観的であることである。人によって異なりうること、その人が育った社会や時代や文化や経験によって、また価値観によって異なりうる。また、同じ人でも、若い時と高齢者の時とで異なることもありうる。このように、安心は、主観的であり、科学的に、客観的に取り扱うのが難しい概念である。安全の方は、客観的に、ある程度は科学的に論じる基礎があるが、安心は、心理的な概念だから、客観的に取り扱うのは難しい等の理由から、安全と安心は、別の概念であると考えるのは妥当であろう。安心に関する研究では、客観性を持たせるために、アンケート調査等を用いた統計な結果がよく用いられている。

安全と安心とは異なった概念であると述べたが、根本的に異なったものなのだろうか。筆者は、両者とも、客観的部分と主観的部分があり、その度合いの違いが大きいだけで、根本のところ共通部分があるのではないだろうかと考えている。例えば、ゴ

キブリだって、人間がいれば不安に思って隠れるという安全行動をとることは、人間も不安に思うと静かに隠れて動かないようにしていることがあるのに似ていないだろうか。先日、テレビで、人間が布団をかぶって安心して寝るのは、動物が穴に入って安心することに起源があると伝えていた。動物と人間の間でさえ安心に関して共通部分があるならば、人間同士、安心に関してかなりの共通部分を持っていて、それは客観的に取り扱える部分があるのではないだろうか。人間が不安を感じた時の行動や、安心を求める行動等を行動分析学等で明らかにすれば、少なくとも、アンケート調査の結果よりは、安心に関して、より客観的な結果になるような気がする。しかし、安全と安心に共通部分があるか否か、安心が客観的に解明できる部分があるか否かはよく分かっておらず、これからの研究を待たなければならない。

ここで、宗教等で求めている安心と、我々が今ここで対象としているモノづくりにおける安心とは、共通部分があるだろうが、異なったものであることを明確にしておきたい。例えば、仏教では、安心は、「あんじん」と発音されて、「仏教に帰依して、心に疑いを持たず、くだらないことに心を動かさないこと」と考えられる。このように宗教で求める安心は、自分の心の持ち方、心の在り方の方に重点を置いていて、外部のモノとの関係はあまり考えていない。しかし、我々がここで対象としている安心は、工学システムに関連した安心であり、モノを使用するとき、危害や損失を受けないで安心して使うことを対象としている。この場合の安心は、モノとの関係、特にモノの安全とは切っても切れない関係にある。このように、安心には二つの分野があり、本稿では、後者のモノづくりに関係する安心を対象としていて、前者の宗教等における安心については対象としていない。

安心の英語訳は一定していないことはよく知られている。適用される場合によって、訳し分ける必要があるような概念である。安心は日本独特なものであるかもしれない。価値観が、モノからコトへ、コトからココロへと移り、幸福、幸せ等を重視すると予想されるこれからの時代では、安心は、我が国から世界に広げる価値のある概念なのではないだろうか。

4. 安全と安心の関係

社会の在り方に関する安全と安心については、文部科学省⁽⁵⁾や日本学術会議⁽⁶⁾でも検討され、報告がなされている。工学の分野では、安心は、主観的な問題であり、科学的根拠を大事にする安全の研究者が安易に安心などを取り扱ったり、安心に言及したりすべきではないと言われる場合があった。しかし、安全と安心との関係については、古くから多くの研究者が対象としてきたはずであり、筆者も、長い間、興味を持っていた。工学の立場から、工学システムの使用者（利用者、ユーザー、作業員等）からの要望である「安全につくられたモノを安心して使いたい」ということに応えるのが、技術者の役割だと考えていたからである。

筆者が関係していた学術会議の人間と工学研究連絡委員会の安全工学専門委員会においては、早くから、社会の安全・安心の構築に対して、安全工学の立場から、提言をし続けている。事実、「安全工学の新たな展望—安心社会への安全工学のあり方—」⁽⁷⁾という安心が標題に入った報告を提出していて、筆者が委員長を仰せつかった時の報告⁽⁸⁾では、標題だけでなく「安全と安心の関係」という章を設けている。そこでは、「設計、製造、管理者側は、安全を科学的に、合理的に、客観的に実現することを追及しているが、使用者側は、実は安心を求めていると考えられる。」と記されている。

安全と安心の関係は、どうなっているのでしょうか。モノの安全が高まれば安心も高まり、安心問題は、安全問題に帰着されると単純に考えている人もいるが、現実には、そう単純ではない。安全とは言えないのに安心している場合や、安全であっても安心しないで不安に思っている場合などがある。両者の関係は、微妙であり、かつ複雑である。更に、風評被害などを考えると、安心の問題は、不安を経由して、安全問題を通り越して、経済システムを揺るがしたり、社会全体に大きな影響を与えたりする事実が多く発生している。もう一つ、悪徳な安心ビジネスの存在がある。顧客の安心をビジネスの中心に置くことは、素晴らしいことだが、その大前提は安全の確保のほずである。安全を無視して安心に重点を置いたビジネス、危険なモノを安心させて販売するビジネス、また、不正確、根拠が不明確、誤解、誤った安全などの情報をもとに、逆に安心させて行うビジネス等々の存在である。安全と安心の関係を

明確にすることで、上記の問題などに少しでも解決の糸口が得られるかもしれない。

5. 安全・安心の方程式

モノづくりにおける安全と安心の関係については、筆者は、安全なモノを作る側と、安心してモノを使用する使用者の側との間の「信頼とコミュニケーション」が重要な鍵であると考えていて⁽⁹⁾、安全・安心の方程式を提案している⁽¹⁰⁾(図1)。

モノづくりにおける図1の安全・安心の方程式は、モノを作って安全を実現する側(企業、国等)と安心してモノを使用したい側(消費者、作業等)との関係を表している。両者の安全と安心を結ぶのは、信頼であることを表している。この方程式の意味するところは、次のようなものである。モノを作る側は、モノのリスクを許容可能なレベル以下に抑えて安全を実現する責任と役割があり、使用する側は、安心して使いたい、許容可能なリスクの存在を自覚して、自分の身は自分で守りながら使うという責任と役割がある。そして、両者をつなぐのが信頼であるという意味は、モノを作る側は安全なモノを作るだけでは安心してもらえず、自分達が使用者に信頼されて初めて、使用者の安心を得ることで、また、モノを利用する使用者側は、安心してモノを使うためには、安全なモノを選び、かつ、その安全を実現している人、企業、機関等の製造側が本当に信頼できるのか否かを確認する必要がある、ということである。そして、信頼は一朝一夕では実現されず、良い情報も、悪い情報も伝えあいながら、お互いにコミュニケーションを通じて、長い間を経て勝ち得るものであり、信頼を生むためには、情報の公開と透明性が必須で、お互いのコミュニケーションが重要となる、ということである。このように、この方程式では、企業と消費者との間を結ぶ(安全と安心を繋ぐ)のは信頼であることが鍵となることを表している、企業側からも、また、使用者側からも使える関係である。

安心に関する議論は、その後、日本学術会議でも継続していて、人間と工学研究連絡委員会を引き継いだ総合工学委員会では、筆者も委員として参加して「工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会」を設置して安心についても検討している。最近では「安心感」について議論され、2020年に安心感に関する報告書が出された⁽¹¹⁾。この報告書



安全 × 信頼 = 安心

図1 安全・安心の方程式

では、上記の方程式は、図2のように、安心は、1より小さい(安心<1)という表記が追加されている。この意味は、使用者は安心して(安心=1)ことがあってはいけない、すなわち、モノには必ずリスクが存在するので注意して使用しなければならず、安心してすぎたてはいけないことを定性的に表すために追加されたものである。この小委員会では、更に安心感に関する考察を継続していて、2023年に「工学システムに対する「安心感」の醸成」⁽¹²⁾を提出していて、興味ある内容が示されている。なお、ここでの安心感とは、「個々人が安心だと感じる気持ち」のこととされている。



安全 × 信頼 = 安心 < 1

図2 安心は1になってはいけない

図1、2の方程式は、安心、安全、信頼との間の関係を定性的に表している、すなわち、安心は、安全と信頼の関数として

安心 = F(安全, 信頼)

であることを表しているが、それだけではなく、ここで乗算になぞらえて記号×を用いることで、安全、信頼、安心の度合いが0と1の間の数値として表されると仮定すると、安全、または信頼のどちらかが0になれば、安心も0になること、そして、安全に関しても、また信頼に関しても、それぞれの度合いが大きくなればなるほど、安心の度合いも単調増加(そのままの値かより大きく)なることも表している。

このように、この方程式は、安心、安全、信頼との間の定性的、概念的な関係をあらわしていて、厳

密な数学的な方程式を意味しているわけではない。しかし、これを数学的な方程式と考えても、ある程度、意味がありそうなので、若干の考察を次項で試みる。

6. 数学的な方程式として、安全・安心の方程式をみる

安全・安心の方程式は、これまでは、定性的な関係を示している式としていたが、ここでは、数学的な式としても考えてみよう。記号の \times を乗算のような数学的な演算として解釈するためには、安全も信頼も、そして結果的に安心も、数値として表されている必要がある。本当に数値化できるのか、どのような方法でこれらの数値を求めるのか、そこに存在する不確かさはどう表現するのか等については、大変議論のある、難しい問題であろう。しかし、ここではこの問題に深く立ち入らないものとして、便宜上、1が満点、0が零点と解釈して、三つとも0と1との間の数値として表現されると仮定しよう。そうすれば、例えば、この演算 \times が通常の乗算で正しいとすると、ある企業のある製品について、企業から安全の度合いを、消費者から企業の信頼の度合いを聞くことで、消費者の安心の度合いが計算できるということになるかもしれないし、逆に、安全の度合いと消費者の安心の度合いから、方程式を解いて、消費者がその企業をどのくらい信頼しているかが分かることになるかもしれない。しかし、これは、演算が乗算で正しいとしているから計算できるのであって、実は、この演算が正しいかどうかは不明確である。そこで、多くの企業と消費者から〈安全、信頼、安心〉を表す0と1との間の度合いの三対の数値の組として大量に集めることで、 \times で表されたこの演算が、本当に乗算に近いのか、それとも他の演算が良いのか、あるいは表せないのか等が、統計的に分かるのではないだろうか。このように、ここには、データの不確かさと演算の不確かさがあるが、単純に割り切ることで、安全と安心の関係がある程度明確にするのに役立つのではないだろうか、と考えている。

参考のために、付録に、方程式の演算に関する若干の考察を記載しておく。

7. あとがき

客観を重視する安全と、主観を重視する安心とが、どのような関係にあるのかは、アンケート調査や行動分析学等を通じ数量化することで、ある程度明らかにされることを期待したい。それは、国、文化、地域、時代等によって異なることになるのであろうが、是非、このような分野に挑戦する研究者が現れることを期待したい。本稿は、そのような研究に向けた一つの試みと見ることができよう。

社会における安全と安心には、信頼がかかわっていることは、古くから言われていたことである。事実、前述した2005年の「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」⁽⁵⁾には、「安心とは、安全・安心に関係する者の間で、社会的に合意されるレベルの安全を確保しつつ、信頼が築かれる状態である」と明快に記されている。本稿は、上記とほぼ同様な趣旨をモノづくりの分野に限定して、安全と安心とをつなぐのは信頼であるという関係に注目した方程式として、単純化して記述したものである。

モノづくりの分野において、安全、信頼、安心の間の関係を方程式として記述することは、考察範囲が限定されるという欠点はあるが、限定された範囲内でより深く考察できる面を持つという有効性があるのではないだろうか。例えば、この方程式を通じて、企業は、製品の安全を如何に使用者の安心に繋がられるかを探ることができ、逆に、使用者が安心して製品を使うためには、如何に製品の安全と企業の信頼の度合いを評価することが大事であることを知ることになる。これは、風評被害の拡散防止や、悪徳な安心ビジネスにだまされないためにも有効であると思われる。方程式の有効性のもう一つの例として、例えば、国や地域による〈安全、信頼、安心〉の三組の多くの実データから、演算の形の違いを推定することで、安全や安心に関するその国や地域の文化の特徴を捉えることに繋がるだろう。

本稿では、モノづくりの分野を想定したが、他の多くの安全の分野、例えば、食品の分野、防災の分野、等々における安全と安心問題にも適用できる面があるのではないかと考えている。少しでも他の分野の参考になることを期待したい。

参考文献

- (1) 岩波国語辞典, 第4版, 岩波書店, 1922-10
- (2) ISO/IEC ガイド 51 (JIS Z 8051) 安全面—規格への導入指針, 2014
- (3) ISO 12100 :2010 (JIS B 9700, 機械類の安全性—設計のための一般原則—リスクアセスメント及びリスク低減)
- (4) 向殿政男, 安全の理念と安全目標, 学術の動向, 2016年3月号, pp.8-13, 日本学術協力財団, 2016-3
- (5) 「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書, 文部科学省, 2004-4
- (6) 報告「安全で安心な世界と社会の構築に向けて—安全と安心をつなぐ—」, 日本学術会議, 安全・安心な世界と社会の構築特別委員会, 2005-6
- (7) 報告「安全工学の新たな展望」—安心社会への安全工学のあり方—, 日本学術会議 人間と工学研究連絡委員会 安全工学専門委員会報告, 2003-5
- (8) 報告「安全・安心な社会構築への安全工学の果たすべき役割」, 日本学術会議 人間と工学研究連絡委員会 安全工学専門委員会, 2005-8
- (9) 向殿政男, 安全の理念, 学術の動向, Vol.14, No.9, pp.14-19, 日本学術会議, 2009-9
- (10) 向殿政男, ためになる「安全学」最終回: 安全と安心, プラントエンジニア, 43巻 第3号 通巻 505号, pp.66-67, 日本プラントメンテナンス協会, 2011-2
- (11) 工学システムに対する安心感と社会, 日本学術会議, 総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会, 2020-8
- (12) 見解: 工学システムに対する「安心感」の醸成, 日本学術会議, 総合工学委員会・機械工学委員会合同, 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会, 2023-9
- (13) 中島信之, t-ノルムの全て, 日本ファジィ学会ソフトサイエンス研究会, 三恵社, 2001-8

付録 方程式の演算に関する若干の考察

図1の安全・安心の方程式において, 安全も, 信頼も, 安心も0と1との間の数値(これをそれぞれの度合いと呼ぶ)として評価できると仮定しよう. すなわち,

$$\text{安全, 信頼, 安心} \in [0, 1]$$

とする. また, 安心は, 安全と信頼の関数(これをFと記す)として表せるとする. すなわち,

$$\text{安心} = F(\text{安全, 信頼})$$

とする. この時, 関数Fの条件として,

- (1) $F(1,1) = 1$ (安全=信頼=1の時は, 安心=1となること)
- (2) $F(0,0) = 0$ (安全=信頼=0の時は, 安心=0となること)
- (3) Fは, 単調増加関数(安全, 信頼に関して, 数値が大きくなれば安心の数値も大きくなるか, またはそのまま)
- (4) 交換律 $F(A,B) = F(B,A)$

を満たすとしよう.

このような条件を満たす関数Fは, 無限にあり得る. 二変数の関数は, 通常, 演算として表されるが, 通常乗算は, その一つの典型的な演算の例に過ぎない. 上の条件を満たす代表的な演算の例として,

- ① $\text{Max}(0, A+B-1)$ (限界積)
- ② $A \times B$ (代数積=乗算)
- ③ $\text{Min}(A, B)$ (論理積)
- ④ $(A+B)/2$ (平均)
- ⑤ $\text{Max}(A, B)$ (論理和)
- ⑥ $A+B-A \times B$ (代数和)
- ⑦ $\text{Min}(A+B, 1)$ (限界和)

等がある. 前者三つがAND型(一方が0なら答えは常に0), 後者三つがOR型(一方が1なら答えは常に1)と呼ばれる演算である.

なお, 上で紹介した演算の例は, すべて, 変数に関して, (4)を満たす交換可能な演算である. 現実には, 安全の度合いと信頼の度合いが交換可能である(例えば, 安全が0.8で信頼が0.5の時の安心の度合いは, 安全が0.5で信頼が0.8の時と同じである)とは限らないことに注意する必要がある. (4)の条件を除くと, 演算の候補は, さらに多く, かつ, 複雑になる.

また, 上の条件(1)~(4)に加えて,

$$(5) \text{結合率 } F(A, F(B, C)) = F(F(A, B), C)$$

を満たす関数は、 $F(A,1) = A$ を満たす場合を t -ノルム、 $F(A,0) = A$ を満たす場合を t -コノルムと呼ばれる演算群として、ファジィ理論の分野で盛んに研究されている⁽¹³⁾。上で例示した演算例では、(平均) と記された演算だけが結合律を満たしていない。(平均) の演算より以前 (①~③) の演算が t -ノルム (AND 型と呼んだもの) で、以下 (⑤~⑥) の演算が t -コノルム (OR 型と呼んだもの) の例である。ファジィ理論では、更に、パラメータ α を含んだ t -ノルム群や t -コノルム群がいくつか提案されている。〈安全, 信頼, 安心〉の三組の多くの実データから α を推定する問題も興味ある課題になるだろう。

(むかいどの まさお/明治大学)



向殿 政男

1970年明治大学工学研究科電気工学博士課程修了, 工学博士, 1970年明治大学工学部電気工学科専任講師, 同工学部電子通信工学科教授, 同理工学部情報科学科教授, 理工学部長を経て, 2013年明治大学名誉教授, 2014年同顧問。専門は, 安全学, 信頼性工学, 情報科学(多値論理, ファジィ理論)。日本ファジィ学会会長, 日本信頼性学会会長を歴任, 中央労働災害防止協会 顕功賞, 日本知能情報ファジィ学会 業績賞, 安全工学会 北川学術賞, 2015年内閣総理大臣賞(安全功労者), 現在, (公財) 鉄道総合技術研究所 会長, (公社) 私立大学情報教育協会 会長。電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本信頼性学会会員。