

砂防分野におけるファジィの適用について

(財) 砂防フロンティア整備推進機構 ○渡部 康弘

五十嵐弘和

清野 耕史

1. はじめに

ファジィというと数年前の家電製品のテレビコマーシャルが有名であるが、最近土木の各分野でファジィ理論が応用されており、砂防分野でもいくつかの適用例^{1)・2)}があるが、内部の勉強会でファジィ関係の文献^{3)・4)・5)・6)}等をもとに砂防分野でもファジィ理論が適用できないものか議論した結果を上記テーマでまとめたので、ここに話題提供として報告するものである。

2. ファジィ理論について

2.1 ファジィ集合の概念

あいまいさの度合いを測る尺度としてファジィ理論がある。「ファジィ」とは、縁が毛羽だった布切れのイメージや輪郭がぼやけた状態を指す言葉である。この理論の基礎になっているのがファジィ集合の概念である。これは1965年にZadeh教授によって提唱された新しい集合概念である。

普通の集合では個々の要素がその集合に属するか否かを明確に区別するが、ファジィ集合では個々の要素が明確にその集合に属する場合から、徐々にその度合いが薄くなり、最後はその集合に明確に属さない場合までをすべて想定し、その度合いを個々の要素の関数(メンバーシップ関数という)とみなす。

対象とするすべての要素の集合を S とする。 S は普通の集合(クリस्प集合または非ファジィ集合)でファジィ集合ではない。クリस्पはファジィとは対照的に、「輪郭がはっきりした」というイメージを持っている。ファジィ集合 A はクリस्प集合 S に属する要素 x に対してメンバーシップ関数 $\lambda_A(x)$ を定めることにより定義される。ここで、 $\lambda_A(x)$ は要素 x がファジィ集合 A に属する度合いを表すもので、 $0 \leq \lambda_A(x) \leq 1$ 、 $x \in S$ である。 $\lambda_A(x)$ が1になれば x は A に完全に属しており、0に近づくほど A に属する度合いが薄くなり、0になると全く属さなくなる。つまりメンバーシップ関数 $\lambda_A(x)$ は $x \in S$ がファジィ集合 A に属する点の位置の輪郭のぼやけの程度を表す関数であるといえる。

2.2 ファジィ理論の応用

ファジィ理論の代表的な応用としては以下のものが挙げられる。

- ① ファジィ推論、② ファジィ制御、③ ファジィ積分、④ ファジィ確率、⑤ ファジィ統計
- ⑥ ファジィ数量化、⑦ ファジィクラスタリング、⑧ ファジィニューラルネットワーク
- ⑨ ファジィエキスパートシステム

2.3 ファジィ理論をとりまく今後の展望

ファジィと比較的近い分野でかつ、ファジィと同じように一般にかなり話題になっているものにAI(人工知能)とニューロがある。どれも、何とかして人間と同じような知的情報処理を行うシステムを構築したいという共通の目標を持っている。

ファジィ理論はまだ30年余りの歴史しかないが、ニューロやAIと融合しながら急速にあらゆる分野へ浸透し、工学分野への応用も今後はますます盛んになるだろうと思われる。

3. 砂防分野への適用について

3.1 なぜファジィなのか

Zadeh教授は現代制御理論という厳密で精密な科学技術分野の研究に携わっている中で、モデリングに関連して不適合性の原理 (Principle of Incompatibility) ということばで明快に述べている。

『システムの複雑さが増し、ある限度（これを超すと精密ということと正確で役に立つという要請が互いに相容れないものになる複雑さのレベル）を超えるとシステムの挙動についての精密でかつ意義のある記述は不可能になるというものである。精密さを追求するとシステムの変数とパラメータの数が膨大なものとなり、システムの全体像が見えず使いものにならないモデルになってしまう。一方、見通しのよい役に立つモデルというのは、量的関係を犠牲にした定性的なものであるだろう。』

結局、状況のあいまいさにちょうど合った記述言語を用いてシステムを記述するのが結局は正確でよいということである。

ファジィ理論誕生には以下の3つの背景があったといわれており、特に③が特長である。

- ① 複雑なものでお必要に応じた適切な規模で大ざっぱに捉えて記述する方法が是非とも必要。
- ② 正確にわからないあいまいなものはあいまいなままに取扱い、正確でなくてのよいからあいまいに推論できる手法が是非とも必要。
- ③ これまでの科学技術の方法では客観的なものしか対象にしていなかった（主観的なものはあいまいなことの一つとして排除されてきた）。ところが、人間の知識などを取り扱うためには人間の主観や個性をも自由に表現できるような記述方法が是非とも必要。

砂防分野も土木の分野と同様、対象となる問題が非常に大規模で複雑であり、かつさまざまな不確実性の影響をうける。そこでは、

- ① すべてのプロセスを定量的な形で明確にすることが不可能である。
- ② 人間社会の向上を目指すことが目的であることから、人間との関わり合いがどうしても避けられず、計画・設計の良否の判定にはつねに人間の主観に起因するあいまいさが入り込む。
- ③ 対象物が大きく複雑であるということは、それに関する有用な情報を得るのに多大の労力と費用がかかる。すなわち、技術的な問題もさることながら、経済的な問題も無視できず、利用できる情報の質・量ともに大きな制限を受ける。情報が十分にあれば、種々の不確実性を確率統計的に処理できるが、不十分な場合は確率統計的手法で合理的な解を得ることは難しい。

不確実性には、①ランダム性、②対象があまりにも複雑で理解出来ないあるいは知識が不十分なために生じる不確実性、③自然言語に含まれるあいまいさ、④画像処理等に含まれるあいまいさ、⑤情報の欠如による不正確さ、⑥多くの意味あるいは解釈が存在することによるあいまいさ、等を考えることができる。確率論では①のランダム性のみを扱うもので、主観確率等の概念を付加することによって、確率論の範疇で実際のモデルあるいは評価方法が構築可能であるが、上記のさまざまな不確実性を扱えるものとして、ファジィ理論が注目されている。

3.2 どういったものに適用できそうか

構造物の破壊という複雑な現象に対して、安全率 ≤ 1 では破壊が生じ、安全率 > 1 ではまったく破壊が生じないのか。場合によってはもう少し柔軟な取扱い、安全率1の近傍では構造物が破壊する可能性があると考えの方が好ましい。すなわち、破壊事象は安全率 ≤ 1 というように明確に定義できず、その破壊と非破壊の境界はあいまいであると考えの方が破壊事象を正しく捉えることができるのではないだろうか。

地盤工学では地盤の非均質性および不連続性（様々な種類の地質材料で構成され、また多くの割れ目が存在するため）の影響を顕著に受けやすい。また、地盤の地質構成や力学特性などを領域全体にわたり調査し完全に把握することは、経済的および技術的な問題からほとんど不可能である。そこで、土質工学や岩盤力学などの理論に加えて、技術者の経験的知識や評価および判断が重要な役割を果たしている。

理論的に未解明な問題が多く（知識不足、研究不足が原因）場合は、これらを決定論的に解決することは重要であるが、そのためにはまず不確かな部分を知り、定量化しておく必要がある。ファジィ理論は、不確かな部分の定量化および不確かな条件下における問題解決あるいは意志決定に対して、合理的な方針を与える方法の一つとして期待できる。

3.3 適用例

(1) 土砂生産モデル

土砂生産に関しては、昭和50年代に数量化手法を用いたものがあつた。崩壊の素因（平均標高、起伏量、斜面方向、斜面形状、植生、地質、谷密度等の要因）を数量化分析によってカテゴリー区分ごと重みづけを行うもので、過去の崩壊発生事例を統計的に分析し、関連のある因子を見だし、それにもとづいて予測式を設定しようとするものである。しかし、崩壊の誘因となる降雨との相関性がうまく考慮できない場合が多かつた。

これに対して、昭和60年代前半から土質力学的な物理モデルとして、浸透流+斜面安定計算を組み合わせたものが注目されるようになった。

浸透流解析には飽和浸透流と不飽和浸透流解析とがあり、飽和浸透流はオーダー単位の大きなバラツキを持つ飽和透水係数が支配的な物理定数であり、不飽和浸透流では不飽和透水係数と比水分容量が支配的な物理定数である。対象とする範囲が広くバラツキの多いこれらの物理量を確定値として入力して解析するためには、物理現象を的確に捕らえた上でそれをどのように判断するか（たとえば、浸透そのものが鉛直方向よりも側方浸透、しかも、パイプ流が卓越すること）の高度な判断が必要である。

また、斜面の安定解析でも同様に、空間的にバラツク物理定数を確定値として、安全率 ≤ 1 なら崩壊する（実際は安全率1の近傍で崩壊する可能性があると考えの方が妥当）ものとして、浸透流解析と結びつけた複雑なモデルは、データ収集ならびにデータ作成のための作業量が多いこと、結局のところ物理定数に確定値を用いなければならず、その決定には高度な経験者の判断が必要となる。

ファジィ理論を使った土砂生産モデルは数量化手法でのカテゴリーウェイトに代わり、メンバーシップ関数を主観的に定めることによって容易に出来そうである。さらに、降雨との対応も、流域をゾーニング分けして、かなり降雨の多い地域、降雨の多い地域、やや降雨の多い地域等のことばでメン

バーシップ関数で表現すれば、降雨分布を考慮できる。また、微地形解析結果も降雨同様にことばで表現して、それに対応するメンバーシップ関数を用いれば、地形的な要因も考慮できる。

広い地域を対象とする場合、今まで行われてきた数量化手法のデータを使い、それに降雨・地形的な要因を新たに加えれば、より精度の高い土砂生産モデルが構築可能となろう。

(2) データベースの構築、ファジィ情報検索

たとえば、自然条件や社会条件（荒廃状況、植生分布、各種法規制、砂防設備、保全対象の分布状況、整備率等）のデータベースの構築、それを即座に容易に検索できるファジィ情報検索システム。

(3) 景観シミュレーション

最近では、砂防でも機能性重視から周囲の景観になじむよう景観に配慮した砂防設備が多く計画されるようになってきている。コンセプト等の言葉（言語）から、適切に色や材料を判断して、それを砂防施設設計に反映するような景観シミュレーション。

4. おわりに

砂防は技術者の経験を重んじる分野であり、また人間との関わり合いを抜きにしては考えられないことにより、ファジィ理論が役に立つものを思われる。

紙面の都合上、わかりにくい箇所もあったかと思いますが、当日ポスターセッション会場にて補足資料を配布することでご容赦していただければと思います。

今回、砂防分野におけるファジィの適用について話題提供したが、これを機に砂防の分野でもファジィ理論を応用した研究発表がますます増えるを期待します。

なお、ファジィ理論に関する内容についてはほとんど参考文献^{3)・4)・5)}の内容を引用したことをお断りしておく。

【問い合わせ先】

〒162 東京都新宿区払方町27番地6、KSアクスビル1階

財団法人砂防フロンティア整備推進機構企画調査部

TEL 03-5228-2431, FAX 03-5228-2435

〔参考文献〕

- 1) 吉松他、”ファジィ理論による地震時斜面崩壊危険度の判定”、土木技術資料31-4、1989年
- 2) 寺田他、”可能性線形回帰分析による崩土の到達範囲予測の検討”、平成5年度砂防学会研究発表会概要集、1993年5月
- 3) 日本ファジィ学会、”講習会『ファジィ理論の基礎』”、1990年2月
- 4) 古田均他、”特集：ファジィ理論の土木工学への応用”、日本ファジィ学会誌、1990年8月、V o 1 . 2 No . 3
- 5) 鬼沢他、”特集：信頼性解析・リスク解析へのファジィの応用”、日本ファジィ学会誌、1993年10月、V o 1 . 5 No . 5
- 6) 土木学会構造工学委員会、”第3回シムテム最適化に関するシンポジウム講演論文集”、1993年12月