

ISSN 0912-6325

応用地質年報

OYO TECHNICAL REPORT

NO. 9

1 9 8 7

昭和 62 年 12 月



応用地質株式会社

OYO CORPORATION

応用地質年報

OYO TECHNICAL REPORT

NO. 9 1987

04

0

9

新しい理論の勉強に挑戦しよう

—フラクタル思想とファジィ理論—

フラクタルの考え方

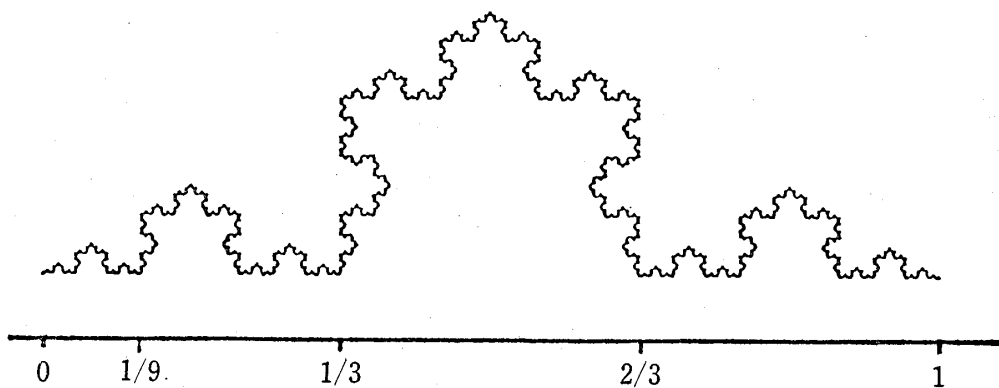
ダムや切取斜面の地質調査を経験したものなら誰でも一度は、岩盤の割れ目を定量化できたらと考えたことがあると思います。

山の形や岩盤（岩体）の割れ目を表す方程式が作れないだろうか、もしそれができれば複雑な地質構造を統一的・定量的に扱える可能性が生れるわけです。

土木地質学の目指すところが土木（工学）に役立つ地質学の構築にあるとするならば、地質現象の定量化は構造物の基礎地盤の地質調査に従事するものの最大のターゲットになります。

最近，“フラクタル”という言葉をよく耳にするようになりました。フラクタルというのは複雑な形を表現するために作られた新しい考え方です。その語源はラテン語の形容詞 *fractus* で、英語の *fractional* や *fracture* も *fractus* から派生した言葉であります。*fractus* という言葉は、ものがこわれて大小さまざまな破片になった状態を表します。

ここに、コッホ曲線と呼ばれる最も基本的なフラクタル図形を紹介しましょう。



コッホ曲線

地学を勉強したものなら、このコッホ曲線をみてアンモナイトの Suture Line（缝合線）に似ていると思う人もいるでしょうし、また、リアス式海岸線を思い浮べる人もいると思います。



白亜紀のアンモナイト

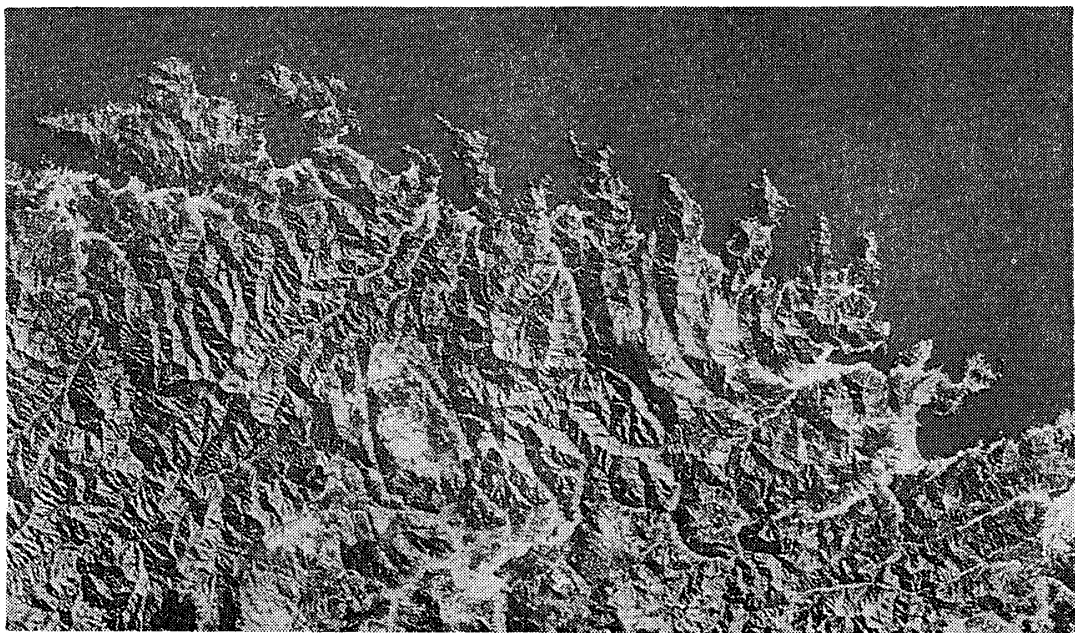


白亜紀のアンモナイトの縫合線
(Suture Line) の一例

(『TREATISE ON INVERTEBRATE PALEONTOLOGY

Part L MOLLUSCA 4 CEPHALOPODA AMMONOIDEA』:1957より)

縫合線のフラクタル次元を調べた人はいないので縫合線がフラクタルであるかどうかわかりませんが、リアス式海岸線のフラクタル次元 1.3 と、コッホ曲線のフラクタル次元 1.26 とを比較すると、コッホ曲線からリアス式海岸を直観したのは科学的にもうなずけることになります。

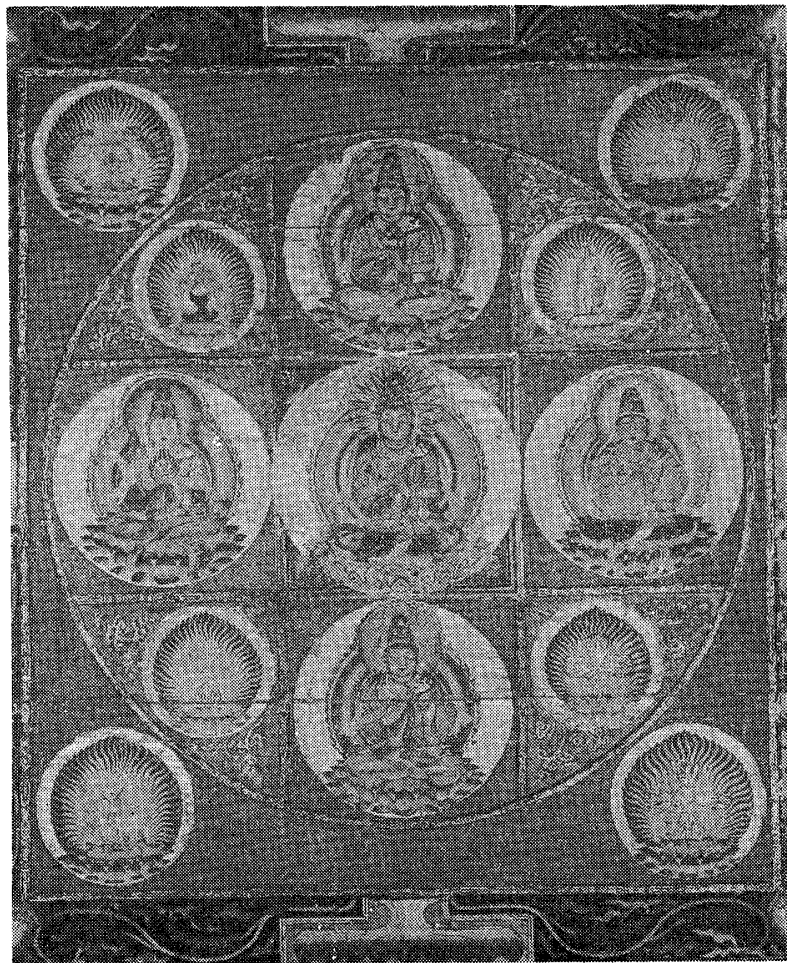


三陸海岸のリアス式海岸線の例(『ランドサットマップ東北』©TRIC より)

海岸線だけでなく、山・谷の起伏、川の流れもフラクタル次元で特徴づけられることがわかってきましたので、地形だけでなく地質構造もフラクタルではないかと夢がふくらんでいきます。

非整数の値をとる次元は100年も前から数学者の間では知られていましたが、それを自然界に存在するものに応用したのは、フランス生れの数学者マンデルブロ教授 (B. B. Mandelbrot) (ハーバード大学) の1967年の論文「イギリスの海岸線の長さは何のくらいか？統計的自己相似性と非整数の次元」が最初のことです。そして、この概念が各方面から注目されてきたのはごく最近のことです。

フラクタルの考え方の基本は部分と全体の自己相似性（拡大しても同じ形がくり返し現れてくる形）にあります。古くから日本人に親しまれた密教の曼陀羅（まんだら）はフラクタル的な構図です。部分と全体についてのフラクタルの考



両界曼陀羅（伝真言院曼陀羅）
『IWANAMI GRAPHICS 20 曼陀羅のみかた—パターン認識』より

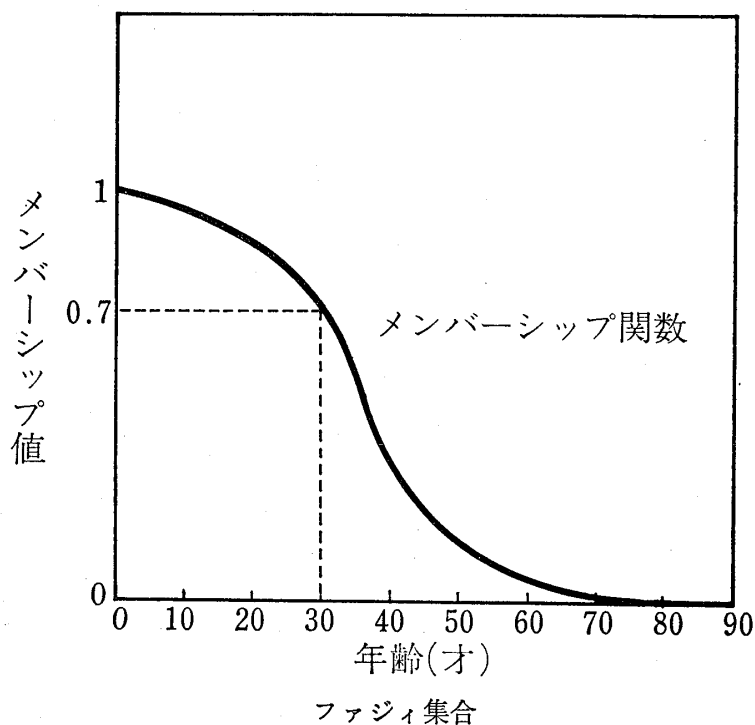
え方は、東洋的・仏教的世界観に一脈通じるものがあって大変興味深く感じます。

なお、フラクタル次元という複雑さを計る物差しは、最近では、自己相似性をもたない複雑さやランダムな複雑さまで対象にできるようになってきたとのことで、地震時における地盤と構造物の相互作用といった問題に対してもあるヒントを与えているようにも思えます。

ファジィ理論 (Fuzzy theory)

“ファジィ (Fuzzy)” とは「ぼやけた」を意味する英語の形容詞で、日本では「あいまい」と訳されています。

このファジィ理論は、アメリカのカルフォルニア大学 (バークレー) のザデー教授 (L. A. Zadeh) が1964年に発表した「ファジィ集合 (fuzzy set)」という論文で提案したもので、人間の主観的なあいまいさを取扱う理論であります。ファジィ理論では人間にかかわるあいまいさをファジィネスと呼び、このファジィネスというのは、若い、中年、大きい、早い、硬い、やわらかいといったような言葉にみられるあいまいさのことで、ファジィ理論ではこのあいまいさを数量化しています。たとえば、「若い人」という集合は明確に定義できません。なぜなら、人によって「若い人」の年齢のとらえ方が違うからです。30歳の人



人」に属する度合いを、属さない(0)か属す(1)かではなく、たとえば、0.7のような〔0, 1〕区間の実数値で表します。つまり、ファジィ理論は、ものごとを白か黒か、Yes か Noかといったように二値論理的に割り切ってしまうことのできないものを数学的に扱おうとするものです。

日本人は、「善処する」とか「前向きに検討する」という言葉をよく使いますが、西欧の人にはなかなか理解されない言葉で、その場かぎりのいいのがれと思われて評判が悪く、「やるのか、やらないのか、どちらかはつきりしてくれ」と突っ込まれることがあります。

しかし、「前向きに検討する」といったあいまいな表現が、交渉のある段階では一番適当な言葉で、これしかいいようがないこともあります。このあいまいさこそ人間の思考の本質であると考えられます。そして、思考と言語とは不可分な関係にあります。人間はこのあいまいさを本質とする言語を使って思考し、お互いに情報を交換し、社会を古代社会から近代社会へと発展させてきたのは厳然たる歴史的事実であります。

ファジィ理論の実際の適用は、1980年にデンマークの F.L. Smidth 社がセメント・キルンの制御に用いたのが最初といわれています。わが国では、1987年7月15日に開通した仙台市の地下鉄の運転制御に使われて注目を引きました。

ファジィ理論はプロセス制御（製鉄所、ゴミ焼却炉、污水处理場、浄水場など…）、運転制御（地下鉄、自動車、トンネル掘削機械など…）、人工知能（エキスパート・システム、建築物の診断、ロボットなど…）、パターン認識（画像認識、音声認識など…）、ファジィ・コンピュータなどに適用され、その実用化は急速に発展していかせらるゝと予想されています。

専門家でもない私がフラクタルやファジィ理論をここであえてとりあげましたのは、“地質工学の創造”を社是とする OYO の若い社員が、フラクタルやファジィ理論にかぎらず、新しい理論を勉強して、地質工学の創造に情熱を傾けてほしいと切望しているからにほかなりません。

1987年12月

陶 山 國 男

Let Us Acquaint Ourselves with New Concepts

—The “Fractal” and “Fuzziness” Concepts—

The “Fractal” Concept

Anyone who has been involved with geological investigations of dam sites or cutting slopes is bound to have at some time thought about how helpful it would be to have a set of standard quantities to express state of cracking of the rock formation.

Is it not possible to work out a formula to express the topology of mountains or cracks in rock formation? If such a formula was available, we would then have the potential for quantitatively expressing complex geological structures in a standardized way.

If the objective of engineering geology is to develop a concept of geology that is useful to civil engineering, then the ultimate aim of geological investigations for foundations is to express geological phenomena numerically.

Of late, we have heard much of the word, “fractal”. It is a new concept that was created for expressing complex forms. It comes from the Latin adjective “fractus”, and is related to the English words, “fractional” and “fracture”. The word “fractus” refers to the state of something being broken into fragments, large and small.

Let us consider a “Koch curve”, which is the most fundamental graphic representation of a fractal. Anyone who has studied earth science is apt to find a similarity of this Koch curve with the suture line of ammonite. Others may think of a Rias coast.

Since no one has studied the fractal dimensions of suture lines, it cannot be said whether or not a suture line is a fractal. However, the idea that a Koch curve is very similar to a Rias coast is scientifically reasonable, in view of the fact that the fractal dimension 1.3 of a Rias coast is nearly equal to the fractal dimension of a Koch curve; 1.26.

It has been determined that not only shorelines, but the topographies of mountains, valleys and rivers can also be characterized in terms of fractal dimensions. It is therefore possible for us to dream of applying the concept to geological structures as well as to topography.

Mathematicians of a century past knew the existence of dimensions having non-integral values, but it wasn't until 1976 when the French-born mathematician, Professor B.B. Mandelbrot, of Harvard University, applied the concept to the natural world, in a paper entitled, “How long is the English Coast? — Statistical Self-Similitude and dimensions Having Non-Integral Values”. And it wasn't until quite recently that the concept has become of interest in various fields.

Fundamental to the concept of the fractal is the self-similitude, (the quality of an image maintaining the same form however many times it is magnified) between the parts and the whole. The mandala of esoteric Buddhism, long familiar to the Japanese, expresses a kind of fractal. We find this conception of the relationship of the parts to the whole, so understandable from the standpoint of Eastern or Buddhist thought, extremely interesting.

As a tool for measuring the complexity of things, the fractal has recently been applied in situations of random complexity and of complexity which has no self-similitude. Thus, we may well consider that this concept can be helpful in regard to such problems as the ground-structure interaction during earthquakes.

Fuzzy Theory

Fuzzy Theory was originally proposed in a paper entitled, "Fuzzy Sets", by Dr. L. A. Zadeh, of the University of California at Berkeley, in 1964. The theory can explain the lack of precision inherent in people's subjective way of thinking. The theory calls this lack of precision "fuzziness". The paper referred to the fuzziness of such words of "young", "middle age", "big", "early", "hard", "soft", etc. The theory quantifies this fuzziness.

For example, the set of "young person" cannot be defined clearly, because different people have different concepts of what constitutes youth. People aged 30 do not belong to either Set 1 or Set 0, but somewhere in between 0 and 1, e. g., 0.7. In this way, fuzzy theory handles numerically situations in which a simple 2 value system—wherein something is either "white" or "black", or "yes" or "no" —cannot be applied.

Japanese often use phrases like, "deal with the matter as the situation calls for" or "consider a matter in a positive way". Westerners have great difficulty understanding what is meant by such phrases. Sometimes, they take such expressions as evasiveness, and demand a definite answer, asking "Are you going to do it or not?".

However, there are certain stages in negotiations when such imprecise phrases as "considering the matter in a positive way" are the most appropriate, indeed, when nothing else can very well be said. It can be considered that this kind of imprecision is true to the way people actually think. The relationship between thoughts and words is inseparable. The hard truth is that fuzzy words reflecting the inherent fuzziness of human society have been used to think and exchange information in a process that has brought developments from ancient to modern society.

The first actual application of fuzzy theory is said to have been in 1980, in Denmark, to a control system for a cement kiln, by the F.L. Smidth Co. In Japan, the theory gain recognition when it was applied to a subway control system, for the Sendai City subway that began operation on July 15, 1987.

We can look forward to the application of fuzzy theory to process control systems (for steel foundries, garbage disposal furnances, sewage processing plants, water purification plants, etc.); to run subways, traffic control systems, tunnel excavation machinery, or for applications in artificial intelligence (expert systems, examination of buildings, robots, etc.), pattern recognition (picture or voice recognition) or fuzzy computers. The future is bound to hold rapid advancements towards such examples of practicalization of fuzzy theory.

Although I am not a specialist in these fields, I have touched upon the fractal and fuzzy theory for the simple reason that I want the young people of OYO, involved in the "creation of geotechnical engineering" to study not only fractal and fuzzy theory, but also other new theories, and to approach their task of creating geotechnical engineering with enthusiasm.

December 1987

Kunio SUYAMA

目 次

新しい理論の勉強に挑戦しよう —フラクタル思想とファジィ理論— Let Us Acquaint Ourselves With New Concepts — The "Fractal" and "Fuzziness" Concepts —	陶山 國男	
非排水繰り返しせん断強度と各種土質定数の関係 Relationship Between Cyclic Undrained Shear Strength of Soils and Basic Soil Properties	今野 政志・古田 一郎 沢田 俊一・佐久間紀呼	i
X線を用いた土の浸透破壊実験とその考察 Seepage Failure Experiment Using X-Ray Photos	中島 秀雄 長瀬 迪夫 飯島 豊	21
浸透破壊に関する考え方と破壊発生条件 —— 諸文献における記述と用例 —— The Concept of Seepage Failure, and Causative Conditions —— Description and Usage in Literature ——	長瀬 迪夫	43

