食品のフラクタル構造と機能

雲の動きや複雑に入り組んだ海岸線の形を表現しようとしても、その困難さは想像に絶するものがある。近年、自然界のみならず社会的な現象を定量的に把握する試みとして「フラクタル」という概念が提出され、利用されるようになってきた。食品の機能や物性は、その持つ不規則な構造に起因する場合が多く、この考え方の導入が役立ちそうに思われる。なれない言葉かもしれないが、身近な例で解説いただいた。

長井直士・鈴木 徹*

1. はじめに

食品の示す様々な機能や物性は、化学的成分組成とその空間的構造としての不規則構造の反映と考えることができる。食品の不規則構造は熱伝導などの移動現象、生化学反応の平衡・非平衡過程、破壊や粘弾性といった力学物性などに影響を及ぼし、その結果食品の機能に深く関与している。従来より、食品の諸性質と成分組成の関係については研究がされてきたが、食品の不均一構造と諸性質の対応の研究は、不規則構造の定量的把握が困難であったために非常に少なかった。食品の不規則構造と諸性質の関係が解明され、その構造の変換・制御が可能となれば、食品に新たな機能が付与できる可能性がある。

そこで本稿では、MANDELBROTにより創成された¹⁾、自然界の様々な現象や複雑な構造の定量化が可能とされているフラクタル解析について説明し、フラクタル解析を用いて食品の不規則微細構造の定量的把握を試みた結果とその機能との相関について検討した例について述べる。

2. フラクタル解析²⁾

1975年 MANDELBROTにより創成されたフラクタル概念は、不規則な構造や現象の定量的把握を可能とするものとして様々な分野に应用されている。フラクタル (fractal) は彼の造語で、fracture (破壊) や fractional (分数の) 等の言葉からも推測されるように、物体が壊れて不規則な破片になった状態や、整数次元に対する分数次元を示唆する言葉である。彼はフラクタルという言葉で当初、自己相似性を持つ幾何学的集合に用いていたが、後にその有用性が広く認識されるに及び、自己相似性を共通点として不規則な物理現象をも含めて使うよう

になった。この自己相似性とは、物の一部を拡大すると全体と同じ構造が見えてくる「入れ子」構造のようなもので、特徴的大きさを持たず (スケールを小さくしていくと細かな凹凸が見えてきて長さが無限に発散してしまう)、いたるところで連続であるが微分が定義できない性質を持つ。

フラクタル構造は一般に非常に複雑な構造を示すが、フラクタル次元を導入することでこれらの形の定量化も可能となる。フラクタル次元は、1次元や2次元といった整数 Euclid 次元 (正確には Topological 次元) を非整数次元にまで拡張したもので、空間における広がりを示している。第1図に示したコッホ曲線はフラクタル構造の例としてよく用いられるが、認識する単位長さを1/3にすると、元の形と同じ形が4個ずつ見えてくる。通常の1次元曲線では測定に用いる単位長さを1/nにすれば、長さは単位長さのn倍となるが、コッホ曲線では単位長さを1/3にすると、長さは単位長さの4倍となる。ある図形が、全体を1/aに分割した相似形 $b=a^D$ 個から構成されている場合、Dは相似性次元といわれ、通常の曲線の場合は1次元であり、コッホ曲線の場合は $\log 4 / \log 3 = 1.261\cdots$ 次元となる。このような非整数次元の総称がフラクタル次元である。一般に、フラクタル次元はその構造体が埋め込まれている空間の Euclid 次元より小さく、構造物の Topological 次元より大きな値と

第1図 コッホ曲線

Fractal Analysis of Some Food Materials and its Physical Properties

Tadashi NAGAI and Toru SUZUKI* (Technical Development Center, Suntory LTD. and * Tokyo University of Fisheries)

なるとされており、次元が大きくなるほど複雑な構造を示す。

自然界においても、木や雲の形や煙の動きなど様々な形や現象はフラクタルであり、フラクタル次元を用いて定量化が可能とされている。さらに、フラクタル概念はパーコレーション理論⁹⁾やスケーリング理論¹⁰⁾と結びつき、相転移における臨界現象の説明にも用いられている。

フラクタル次元の実用的な定義方法には、①測度の関係から求める方法、②粗視化の度合を変化させる方法、③相関関数を用いる方法、④分布関数から求める方法、⑤スペクトルから求める方法などがある。

PFEIFER や AVNIR らは吸着現象を用い、①測度の関係から求める方法、②粗視化の度合を変化させる方法を用い、固体試料の微細構造の定量化を試みている⁵⁻¹⁰⁾。

① 測度の関係から求める方法

種々の粒径に分級した試料に対し、特定の分子を用いて単分子吸着量 n [mol/g] (または比表面積 S_w [m²/g]) を測定し、得られた比表面積 S_w と平均粒径 d_p [μm] の間に

$$S_w \propto d_p^{D_s-3} \quad (1)$$

の関係が成立すれば微細構造はフラクタルであると見なせ、 S_w と d_p の log-log プロットの傾きによりフラクタル次元 D_s が求められる。

② 粗視化の度合を変化させる方法

固体試料に対し、大きさの異なる分子を吸着させ、吸着断面積 σ [nm²] と単分子吸着量との間に

$$n \propto \sigma^{-D_n/2} \quad (2)$$

の関係が成立すれば、微細構造はフラクタルであると見なせ、 n と σ の log-log プロットの傾きよりフラクタル次元 D_n が求められる。

AVNIR らはこのようなフラクタル解析の結果、多くの固体表面の分子レベルの構造はフラクタルであり、その次元は 2.0 から 3.0 次元の間で、多孔質物体の活性炭やシリカゲルでは約 3.0 次元であると報告している。

3. 食品粉粒体の表面微細構造

食品の表面微細構造は水中での分散性や溶解性、酸化速度や吸着能、体内での様々な物質との相互作用に影響を与える因子である。

従来より、表面キャラクタリゼーションを比表面積や細孔分布などで行っているが、比表面積は表面を認識するスケールに依存し¹¹⁾、また、固体の代表径によっても変化することがあるために表面微細構造の定量方法としては必ずしも適当とは言えない。また、細孔分布についても、その分布パターンは一般的な分布関数を用いた数

学的記述ができないことが多いために、定性的情報としかなり得ない。そこで本節では、前節で示したフラクタル解析を食品粉粒体、主に糊化後に様々な方法で乾燥処理した馬鈴薯デンプン粉試料に対して実施した例について以下に述べる。

調製した試料は、馬鈴薯粉をデンプン糊化後 -20°C で凍結乾燥した試料、糊化後に液体窒素にて急速凍結し凍結乾燥した試料、糊化後にエタノールを添加し -20°C で凍結乾燥した試料、糊化後にエタノールを添加し液体窒素にて急速凍結し凍結乾燥した試料で、得られた試料は乾燥後、粉碎、分級を行った^{12,13)}。

第2図は走査型電子顕微鏡により観察される試料の微細構造を示している。馬鈴薯デンプンは微細構造が発達しておらず、平滑な球に近い形状をしているのに対し、 -20°C 凍結乾燥試料では氷結晶が昇華する際に生成すると考えられる大きな凹凸構造が観察される。また、急速凍結乾燥試料においては微小な氷結晶により生成したと考えられるミクロンオーダーのハニカム状の構造が観察される。一方、エタノール添加乾燥試料では -20°C 凍結乾燥試料、急速凍結乾燥試料の氷結晶によると考えられる規則正しい構造とは異なり、非常に微小で不規則な構造が観察される。

調製した試料の液体窒素温度における窒素吸着 BET 比表面積を測定し、その粒径依存性より測度の関係を用いたフラクタル解析結果を第3図に示した。調製したすべての試料の比表面積と平均粒径の両対数プロットは直線となり、この粒径範囲において全試料はフラクタル構造であることが判明した。電子顕微鏡で平滑と観察された馬鈴薯デンプンの比表面積は、平均粒径を代表径とする球の比表面積と同程度であるが、フラクタル次元 D_s は 2.2 次元となり、Euclid 2 次元の構造を示していない。一方、急速凍結乾燥試料、エタノール添加乾燥試料では 3.0 次元で、その比表面積は粒径依存性を示さない多孔質構造となっている。 -20°C 凍結乾燥試料のフラクタル次元は 2.7 次元で、馬鈴薯デンプンより微細構造が発達しているが、他の試料ほど複雑な繰り返し構造をしているとは言えない。

このようなフラクタル構造は粉碎した米粉や小麦粉等でも認められ¹⁴⁾、それぞれのフラクタル次元 D_s が調べられている。また、酸性多糖であるアルギン酸ゲルを乾燥したキセロゲルについても、乾燥方法によりフラクタル次元 D_s が 2.4 から 3.0 次元に変化することが判明している¹⁵⁾。

馬鈴薯デンプン試料に対し、吸着ガスを変え、粗視化の度合を変えてフラクタル次元 D_n を求めた結果を第4図に示す。この方法によっても、各々の試料はフラ

① 馬鈴薯デンプン

④ エタノール添加乾燥試料 (−20℃ 凍結)

② −20℃ 凍結乾燥試料

⑤ エタノール添加乾燥試料 (液体窒素凍結)

③ 液体窒素凍結試料

第2図 走査型電子顕微鏡写真

クタル構造をこの分子スケールの範囲でとっていると判明するが、前述の測度の関係から求めた次元 D_s と D_n は一致していない。この理由は、次元 D_s と D_n ではその相似関係が成立する尺度が粒子スケールと分子スケールと異なり、 D_s は粒子内3次元空間の広がりや複雑さ

を定量化する指標、 D_n は固体表面の分子レベルの複雑さを定量化する指標であり、各々の意味が異なるためと考えられる。しかし、測度の関係から得られるフラクタル次元 D_s によって、必要な比表面積を得るための最適粒径の予測や、粉碎エネルギー¹⁶⁾や充填層の圧力損失の

第3図 各種デンプン試料における素素吸着比表面積の粒径依存性

- , native 試料
- , -20°C 凍結乾燥試料
- ▲, 液体窒素急速凍結乾燥試料
- ▼, エタノール添加乾燥試料 (-20°C 凍結)
- △, エタノール添加乾燥試料 (液体窒素凍結)

第4図 各種試料デンプンにおける単分子吸着量の吸着分子依存性

- , native 試料
- , -20°C 凍結乾燥試料
- ▲, 液体窒素急速凍結乾燥試料
- ▼, エタノール添加乾燥試料 (-20°C 凍結)

予測と制御が可能となる。また、粗視化の度合から得られるフラクタル次元 D_n は表面吸着現象の選択性などを予測する手段となり、いずれのフラクタル次元も構造

変換操作の有効な評価指数になると言える。

4. デンプン分子のフラクタル構造¹⁷⁾

前節では主にガス吸着法を利用したフラクタル解析を試みたが、このガス吸着法による乾燥状態での構造評価は、表面を介した現象の把握に有効であると考えられる。しかし、ガス吸着法による評価は水分を含んだ状態の表面構造を必ずしも反映しているとは言えず、液相中での界面を介した様々な現象の把握には直接的には有効とは考えにくい。また、水分を多量に含有するゲルやゾル状食品等の力学物性や酵素による分解性は、ゾルやゲルを構成する分子の一次構造だけでなく高分子の高次構造や空間的広がりに大きく影響されると考えられる。

ここではデンプン粒子に対しX線小角散乱を適用し、湿潤状態での構造のフラクタル解析を試みている例を紹介する。

フラクタル構造を持つ散乱体からの散乱曲線は(3)式のような指数則が成立することが理論的に示されている。

$$I(s) \propto s^{-\alpha} \quad (3)$$

指数 α の大きさの範囲に応じて以下の関係を用いて、 $3 \leq \alpha \leq 4$ であれば表面フラクタル次元 D_i を求め、表面構造の定量的評価を行なうことが可能となり、 $0 \leq \alpha \leq 3$ であればマスマフラクタル次元 D_m を求め、分子の広がり状態の評価が可能となる。

$$3 \leq \alpha \leq 4 \rightarrow \text{表面フラクタル} \rightarrow D_i = 6 - \alpha \quad (4)$$

$$0 \leq \alpha \leq 3 \rightarrow \text{マスマフラクタル} \rightarrow D_m = \alpha \quad (5)$$

第5図は常温における水分含量の異なる馬鈴薯デンプンの散乱曲線を示したものである。散乱角の小さい部分、すなわち大きなスケールで構造をとらえた場合、散乱曲線は $\log\text{-}\log$ プロットで直線となり、その傾きはいずれも $\alpha \approx 4.0$ となった。(4)式より $D_i \approx 2$ の表面フラクタル構造が反映された結果と考えられる。水分含量を変化させた場合、フラクタル構造を示す範囲が変化するものの、その傾きが変化しないことから馬鈴薯デンプンの表面構造は常温では水分の影響を受けないことが判明する。コーンスターチについても同様の測定をしたところ、水分含量が少ない場合は馬鈴薯デンプンと同様の結果を示したが、100%以上の高水分含有の場合 D_i は2.0より若干大きくなる傾向が認められた。このような結果が馬鈴薯デンプンとコーンスターチの表面構造の差異を示しているのであれば、生デンプンの消化性に関して馬鈴薯デンプンは表面が強固で著しく消化性が悪いが、コーンスターチなどでは生デンプンでも消化され得るとの報告¹⁸⁻²⁰⁾を説明できる可能性がある。

第6図は馬鈴薯デンプン(103%含水)を加熱した場

第5図 水分含量の異なる馬鈴薯デンプンの小角散乱曲線
○; 0%, △; 14.8%, ▽; 25%, □; 103%

第6図 各温度における水分含量103%の馬鈴薯デンプンの小角散乱曲線
○; 24°C, △; 45°C, ▽; 60°C, □; 75°C, ◇; 95°C

台の散乱曲線を示している。60°C 以下では散乱角の小さい部分で傾き約 -4 の直線を示す部分があるが、60～75°C で急にその領域の傾きが変化し、 -3 より大きな傾きとなる。この結果は(4)、(5)式に従えば、表面からのフラクタル散乱からマスフラクタル散乱の範囲になったことになり、表面が失われたことを意味し、巨視的にはいわゆる糊化状態になったことを意味する。しかし、 $s = 0.1 [1/\text{\AA}]$ 付近に認められるデンプンの結晶構造を示すピークは 95°C ではじめて消失している。95°C における散乱曲線は測定角全範囲で直線で、その傾きは測定精度にもよるが -1.9 程度であり、フラクタルの解釈では馬鈴薯デンプンの糊化状態での分子の広がり $D_m = 1.9$ のマスフラクタルであると言える。一方、コーンスターチ (100% 含水) においても同様の結果が得られるが、95°C においてはその傾きが馬鈴薯デンプンより大きな値を示す。 D_m が大きいほど分子の広がりがかたに対する自由度が高く、一定の空間にコンパクトに分子が納まり得ることと理解される。従って、得られた D_m の値に

ついて十分に吟味する必要があるが、馬鈴薯デンプンよりコーンスターチは分子の立体配置の自由度が高く、コンパクトになっていると考えられる。このように糊化状態の構造的差異もフラクタル解析により定量的に把握することが可能となるかもしれない。

5. 食品素材の構造変換による機能改善

前述の比表面積の異なる馬鈴薯デンプン試料などを用いて、食品の微細構造が機能に及ぼす影響の把握を試みた例について本節では述べる。

食品の保存性などにおいて水分収着現象は重要であるが、微細構造を変換し窒素吸着比表面積が 100 倍以上異なる馬鈴薯デンプン試料の 0°C における水蒸気収着等温線は一致し、また、その粒径依存性も認められなく、グルコース 1 単位当たり 0.9 分子の水分子が収着する結果となる¹⁹⁾。同様の結果は比表面積が異なるアルギン酸キセロゲルについても得られ²⁰⁾、デンプンやアルギン酸に対して水分子は表面現象である吸着でなく、体

第7図 各種デンプン試料における見かけの水蒸気拡散係数の粒径依存性 (20°C R. H. 24%)

- , native 試料
- , -20°C 凍結乾燥試料
- ▲, エタノール添加乾燥試料 (-20°C 凍結)

積現象である試料内部活性点への収着を示し、平衡物性には微細構造が影響を与えないことが判明した。しかし、その速度過程においては微細構造の影響があると考えられる。

FARIN らは触媒の反応速度と平均粒径との関係より次式を用いて

$$\text{初期反応速度} \propto (\text{平均粒径})^{D_r-3} \quad (6)$$

反応フラクタル次元 D_r を算出し、反応の表面微細構造依存性を検討している^{22,23)}。

同様の検討を行うために各種馬鈴薯デンプン試料の見かけの水蒸気拡散係数と平均粒径との関係について示したものが第7図であるが、糊化後の試料については吸湿時の水蒸気拡散係数の粒径依存性が認められないが、馬鈴薯デンプンでは粒径依存性がみられる²⁴⁾。馬鈴薯デンプンでの傾きは -0.9 であるので第2図の測度の関係より求めた勾配とほぼ一致しており、吸湿過程が表面微細構造を反映していると考えられる。馬鈴薯デンプン試料の水蒸気単分子収着量が粒径に依存しない結果が得られていることから、吸湿の活性点は3次元的空间に均一に分布していると考えられるが¹²⁾、馬鈴薯デンプンでは粒構造をしているために表面の物質移動抵抗が大きく、見かけの水蒸気拡散係数が表面微細構造を反映する結果となり、糊化後の試料は粒表面の物質移動抵抗がなくなり粒内拡散抵抗が支配的となり表面微細構造が水蒸気拡散係数に影響を与えなくなったものと考えられる。

構造変換により比表面積が増大した馬鈴薯デンプン試料のいくつかの機能について検討した結果、微細構造が発達し多孔質に変換された試料では、高吸水性、高膨潤

性を示し、油滴の合一を防ぐ結果、O/W エマルジョン安定化が発現する。さらに、食品の香気成分吸着・保持能も比表面積が増大した馬鈴薯デンプン試料では認められた²⁴⁾。

また、ヘテロサイクリックアミンの変異原性物質である Trp-P-1 や Glu-P-1 の高い吸着能を示すことが報告されている^{25,26)}。酸性多糖であるアルギン酸では、変異原性物質の平衡吸着能には表面微細構造は影響を与えなかったが、比表面積が増大したアルギン酸キセルゲルではその速度が速い結果が得られ、体内などでの限られた時間内での機能の発現が期待できることが判明した²¹⁾。

6. おわりに

機能と構造の相関が重要となる現象についても、従来、構造の把握が困難であったために、機能改善を考える際に構成成分との相関だけで解釈されることが多かったが、構造と機能の相関を把握することで、より適切な機能の発現が誘導可能となる。フラクタル解析を用いて表面微細構造やその変換操作の定量的把握、分子レベルでの構造の把握が可能となることが判明した。また、フラクタル解析は表面現象が律速、もしくは主体となる機能の予測にも有効であると考えられる。さらに、表面微細構造を変換し比表面積を増大した試料では、物性が変化し様々な機能が変化することも判明してきた。今後、食品の構造と物性・機能との相関がさらに解明され、物性や機能の予測と制御が可能となることに期待したい。

<サントリー(株)*東京水産大学>

文 献

- 1) B. B. MANDELBROT: フラクタル幾何学, 広中平祐監訳 (日経サイエンス社, 東京) (1985)
- 2) 高安秀樹: フラクタル (朝倉書店, 東京) (1986)
- 3) D. STAUFFER: 浸透理論の基礎, 小田垣孝訳 (吉岡書店, 京都) (1988)
- 4) P. G. DE GENNES: 高分子の物理学—スケーリングを中心として—, 久保亮五監修 (吉岡書店, 京都) (1984)
- 5) D. AVNIR and P. PFEIFER: *Nouv. J. Chim.*, 7, 71 (1983)
- 6) P. PFEIFER and D. AVNIR: *J. Chem. Phys.*, 79, 3558 (1983)
- 7) D. AVNIR, D. FARIN and P. PFEIFER: *J. Chem. Phys.*, 79, 3566 (1983)
- 8) D. AVNIR, D. FARIN and P. PFEIFER: *Nature*, 308, 261 (1984)
- 9) P. PFEIFER, D. AVNIR and D. FARIN: *J. Stat. Phys.*, 36, 699 (1984)
- 10) D. AVNIR, D. FARIN and P. PFEIFER: *J. Colloid Interface Sci.*, 103, 112 (1985)
- 11) D. YOUNG, and A. D. CROWELL: ガスの物理吸着,

- 高石哲男・古山昌三訳（産業図書，東京）（1967）
 12) T. YANO and T. NAGAI : *J. Food Eng.*, 10, 123 (1989)
 13) T. NAGAI and YANO : *J. Food Sci.*, 55, 1334 (1990)
 14) T. SUZUKI and T. YANO : *Agric. Biol. Chem.*, 54, 3131 (1990)
 15) T. NAGAI and T. YANO : *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 38, 350 (1991)
 16) 鈴木 徹・矢野俊正：粉体工学会誌，26，31 (1989)
 17) 鈴木 徹：東京大学博士論文（1991）
 18) 二国二郎：澱粉科学ハンドブック，p. 138，朝倉書店（1977）
 19) 中村道徳：澱粉科学，21，230（1974）

- 20) 杉本温美，大西恵子，高谷友久，不破英次：澱粉科学，26，182（1979）
 21) T. NAGAI, C. NISHIYAMA and T. YANO : *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 38, 520 (1991)
 22) D. FARIN and D. AVNIR : *J. Phys. Chem.*, 91, 5517 (1987)
 23) D. FARIN and D. AVNIR : *J. Am. Chem. Soc.*, 110, 2039 (1988)
 24) T. NAGAI, Y. NADEMOTO and T. YANO : *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 38, 533 (1991)
 25) C. NISHIYAMA, T. NAGAI and T. YANO : *Agric. Biol. Chem.*, 55, 797 (1991)
 26) C. NISHIYAMA, T. NAGAI and T. YANO : *Biosci. Biotech. Biochem.*, 56, 1100 (1992)

<書 評>

ポピュラー・サイエンスシリーズ

万葉集にみる食の文化

一五穀・菜・塩一

万葉集にみる酒の文化

一酒・鳥獸・魚介一

著者 一島英治 四六版 180 頁，188 頁
 定価 各 1,339 円（税込み）
 発行所 〒102 東京都千代田区四番町 8-1
 (株)裳華房

とにかく，大変な労作である。万葉集 全20巻 4,516 首の和歌を事項別に分類整理して、『万葉集にみる食の文化』は，1 章 万葉集と時代的背景の巻，2 章 五穀の巻，3 章 菜・果物・藻の巻，4 章 塩の巻，『酒の文化』は，1 章 酒の巻，2 章 鳥・獸の巻，3 章 魚介の巻，4 章 おわりに とまとめられた。

『食の文化』の 2 章は「家にあれば筥に盛る飯を草まくら旅にしあれば椎の葉に盛る（有馬皇子 巻 2-142）」で始まり，36 首の五穀に関する和歌が主なものには万葉がなが付記され，それぞれ歴史的な背景や言葉の意味を例えば「筥」であれば「倭名類聚鈔」を引用して解説されている。『酒の文化』2 章では，1. 狩の風景 24 首，2. 鹿 10 首，3. 猪 6 首，4. 兎 1 首，5. 馬 10 首，6. 鶏 9 首，7. 雉 11 首，8. 鶉 6 首，9. 鶉 3 首，10. 鴨

4 首，11. 雁 5 首，12. 鴨 4 首といったきめ細かい分類で読者にとっては便利至極であるが，著者は膨大なエネルギーを費やされたことと思う。

解説は，著者が少年期に一度は歴史学を選択肢の一つに入れていたと述べておられるだけであって，読み人の社会的地位や系譜，政治的事件の流れ，当時の習俗にまで幅広く触れておられ大変読みやすいし，「官にも許し給へり今夜のみ飲まむ酒かも散りこすなゆめ」という歌では，酒の禁制という背景のなかで「万葉時代の人びとは大らかな歌をうたっているのですが，あるいは厳しい宮仕えのなかにも，このような親心（？）があったためでしょうか」と愉しくさせてくれる。

また，所々に「散歩道」というコラムを設けて，それぞれの項に関係する話題をある時は民俗学・考古学的に，ある時は著者が教授として担当の「農産利用学」（現在は東北大学学部改組で酵素化学講座に変更）の立場から解説されている。「箸の古代史」「日本のイネの伝播経路」など両巻合わせて 78 項にのぼるこれらは新しい知見の宝庫であり，「大豆考」では「醬」の字が読み込まれていながら「大豆」をよんだ歌はなぜないのかと，興味深い問題も取り上げられている。

筆者の読後感のような書評となったが，読まれた方はそれぞれそれなりのインパクトをお受けになることと思う。現代日本の食生活を考えるとき，その成立過程の最も古い記録に挑戦した本書を是非熟読されることをお勧めする。（中村欽一）