

京都精華大学 2012年前期

自然科学論

担当教員：磯部洋明

京都大学宇宙総合学研究ユニット・特定講師

京都精華大学・非常勤講師

第12回「秩序か？混沌か？」

第12回 2012年7月10日

- 単純(simple) と 複雑(complex)
- どちらが美しいと思いますか？

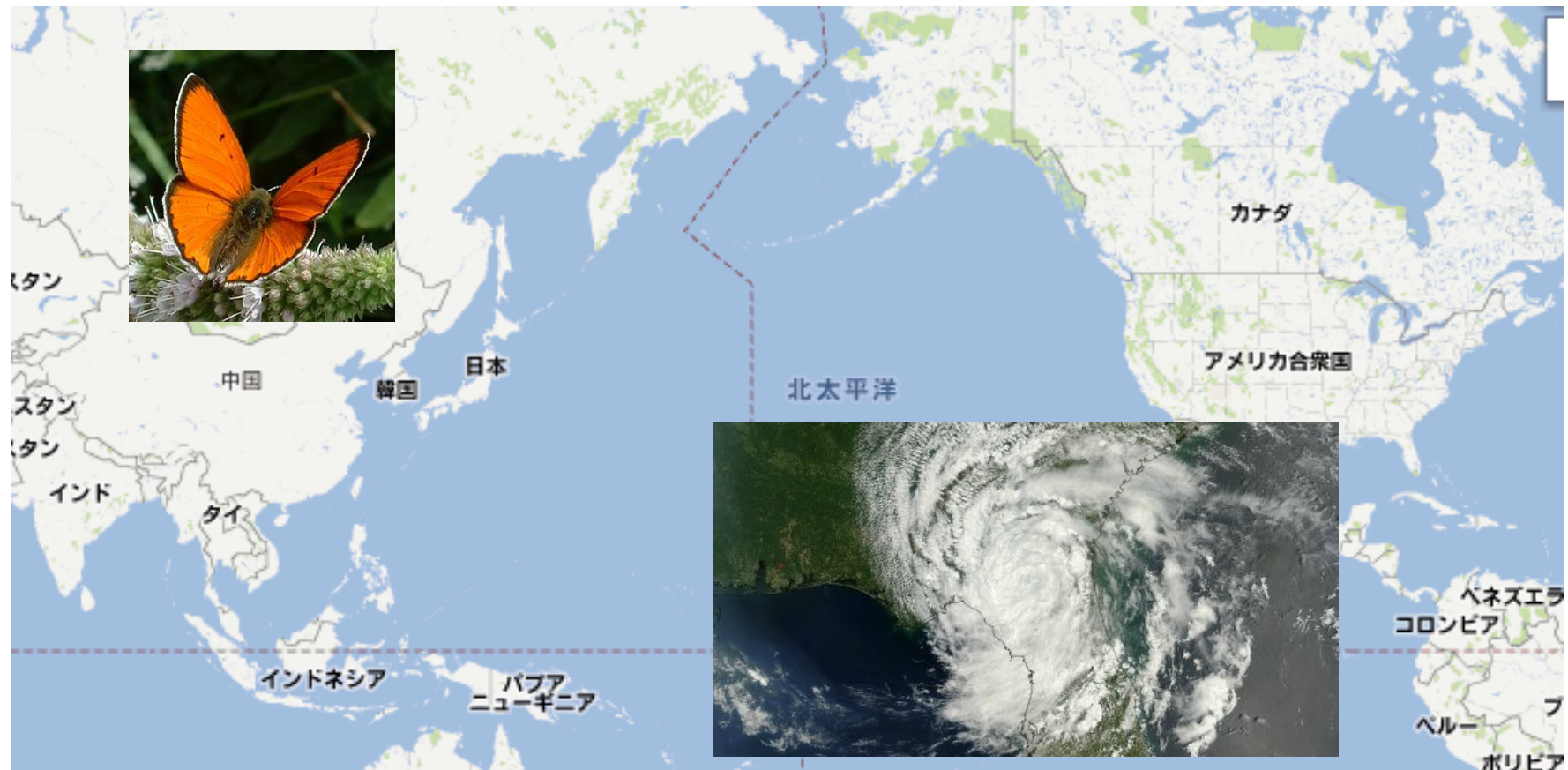
- 「秩序」と「混沌」
- どちらが好きですか？

宇宙は秩序だっているか？

- Cosmos = 秩序
- Chaos = 混沌

(どちらも元はギリシャ語)

バタフライ効果：なぜ天気予報は難しいか



北京で蝶が羽ばたくと、アメリカでハリケーンが発生する

法則が分かれば未来は予測できる？

- 「天体の運動」や「風の流れ」などは、物理法則にのっとなって時間変化する。ある時間、どの場所でどのような運動しているかが「正確に」分かれば、その後の進化が計算できる。
 - 例えば、地球と月の運動
 - これを「決定論的」という
- ところが、法則は分かっている「決定論的」なのに未来が(事実上)予測できない場合がある

- 天体の運行でも風の流れでも、実際の測定には必ず「誤差」「ゆらぎ」がある
 - たとえば、体重が50kgが51kgかは意味があるが、50.000kgか50.001kgかは測っても意味がない
- わずかな誤差が「わずかな結果の違い」しかもたらさない場合と、「非常に大きな違い」をもたらす場合がある。

ちょっと数式が出ますが...

体重をA、食べた食事量をB、運動で使った量をCとすると

$$A_{\text{明日}} = A_{\text{今日}} + B_{\text{今日}} - C_{\text{今日}}$$

この場合、今日食べた食事量の測定が1%間違っていると、明日の体重の予測が1%間違える。

つまり、少々の測定誤差は問題にならない

小さな誤差が大きなエラーを生む計算の例

Aをある芸人の人気度が

$$A_{\text{来月}} = A_{\text{今月}} + A_{\text{今月}} \div (100 - A_{\text{今月}})$$

で決まるとする。

もし今月の人気度が99だとしたら、来月の人気度は

$$A_{\text{来月}} = 99 + 99 \div (100 - 99) = 198$$

もし今月の人気度が101だとしたら、来月の人気度は

$$A_{\text{来月}} = 101 + 101 \div (100 - 101) = 0$$

島にシカは何匹いるか？



鹿久居島(岡山県)



シカの数の変化:ロジスティック写像

ある無人島にシカが生息している。無人島の広さは有限なので、シカが住める数は1万頭である。今、シカの個体数を Y とする。

シカの増加率(出生率-死亡率)に関する係数を A とすると、シカの個体数の変化は以下の式に従う(としよう)

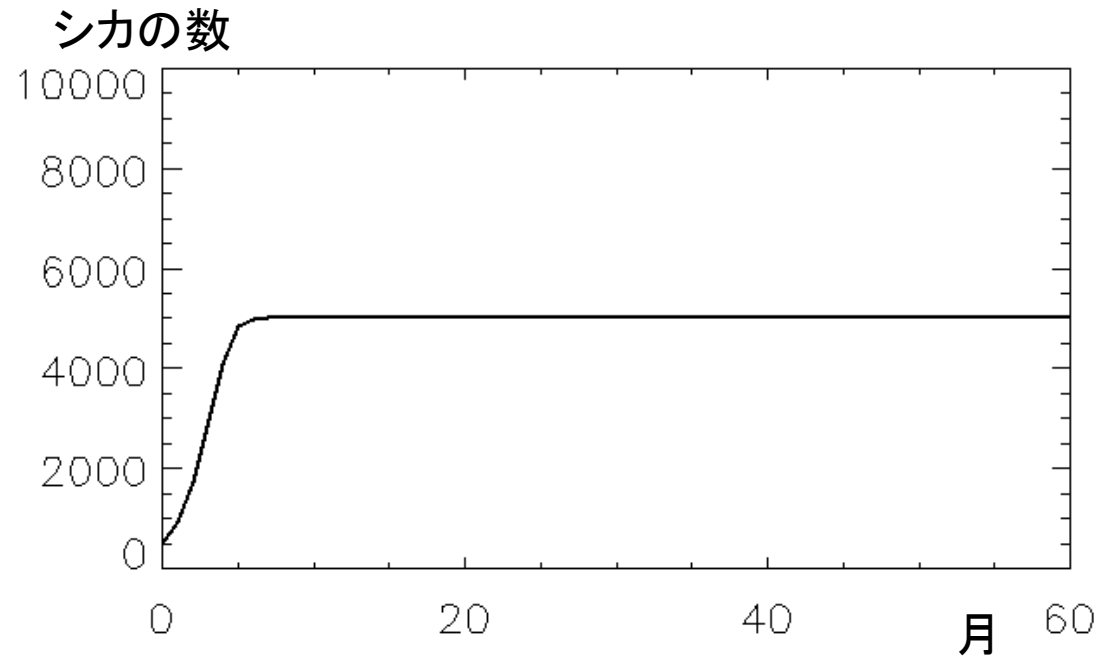
$$Y_{\text{来月}} = A \times Y_{\text{今月}} \times (10000 - Y_{\text{今月}})$$

この式は、個体数が小さいうちはエサが豊富にあるので増加するが、個体数が上限(10000頭)に近づくとエサが減るので減少する、ということの意味している。

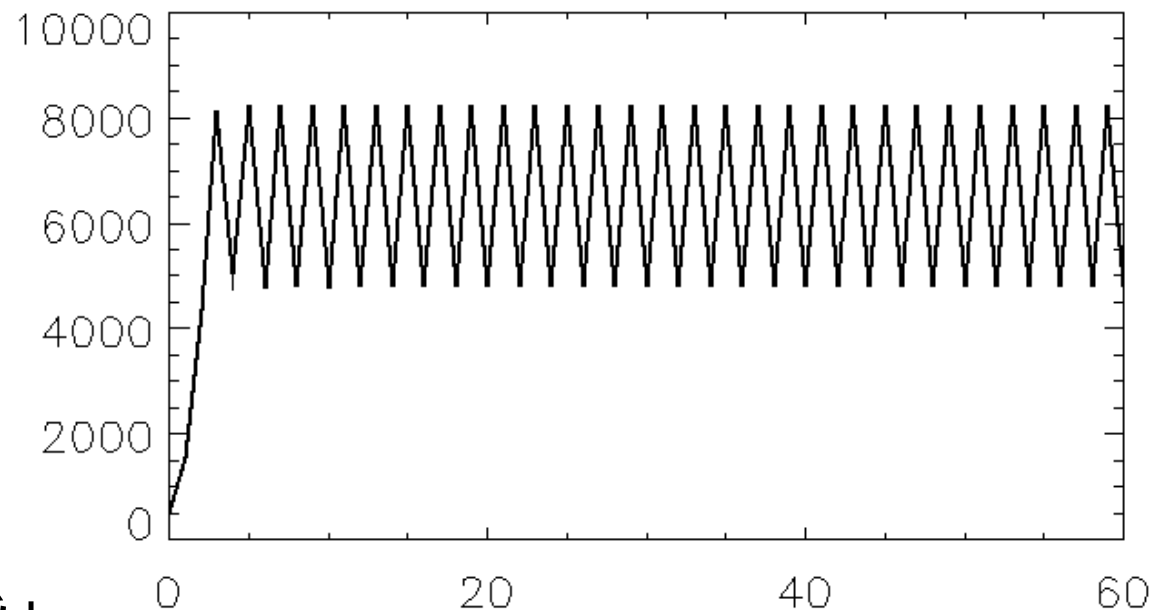
さて、最初500頭でスタートして、実際に計算するとどうなるか？



A=0.0002の場合：
一定値(5000頭)に落ち着く

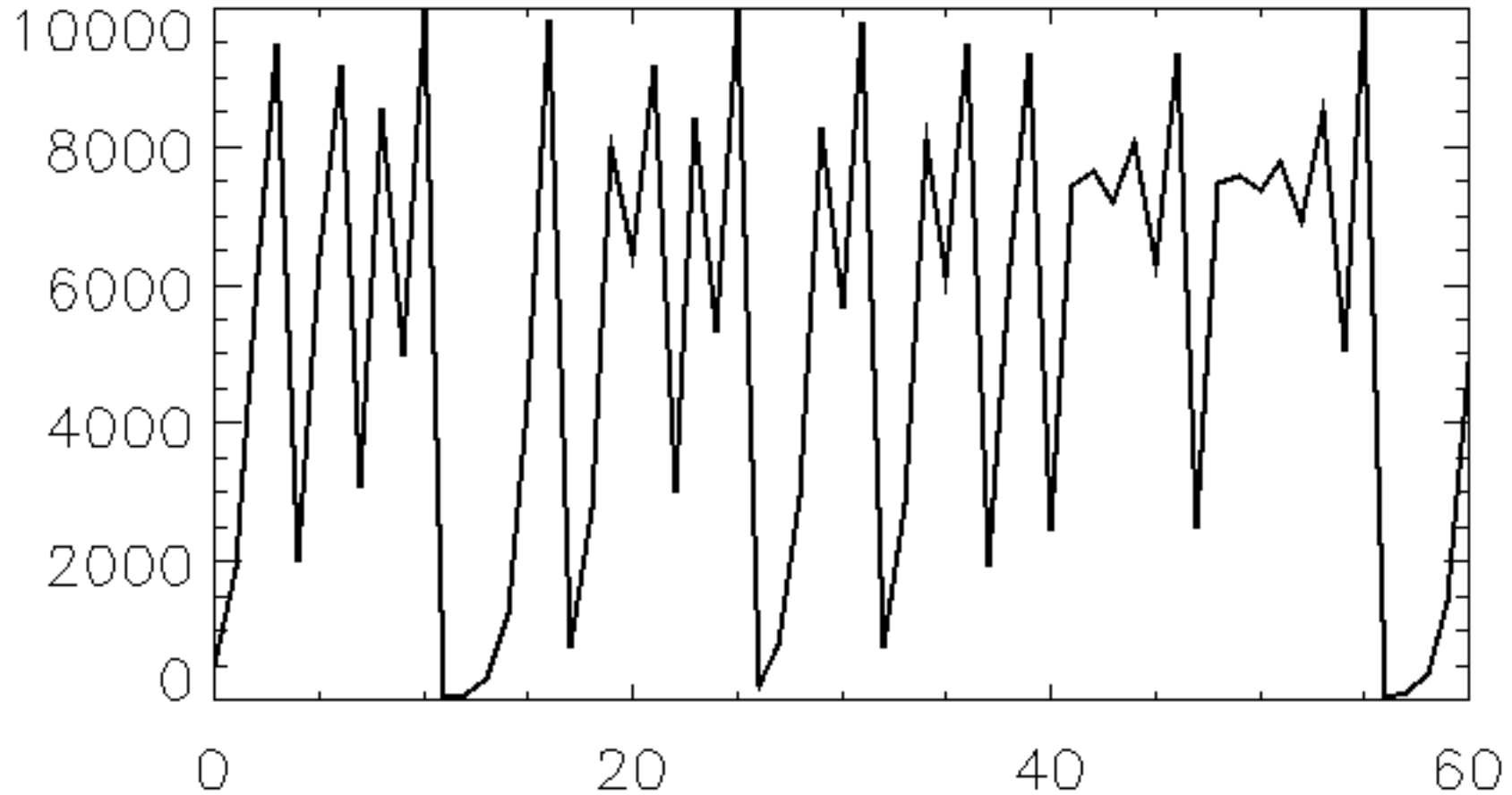


A=0.00033の場合：
月毎に4794頭と8236頭の
間をいったりきたりする。



これらの変動は「予測可能」

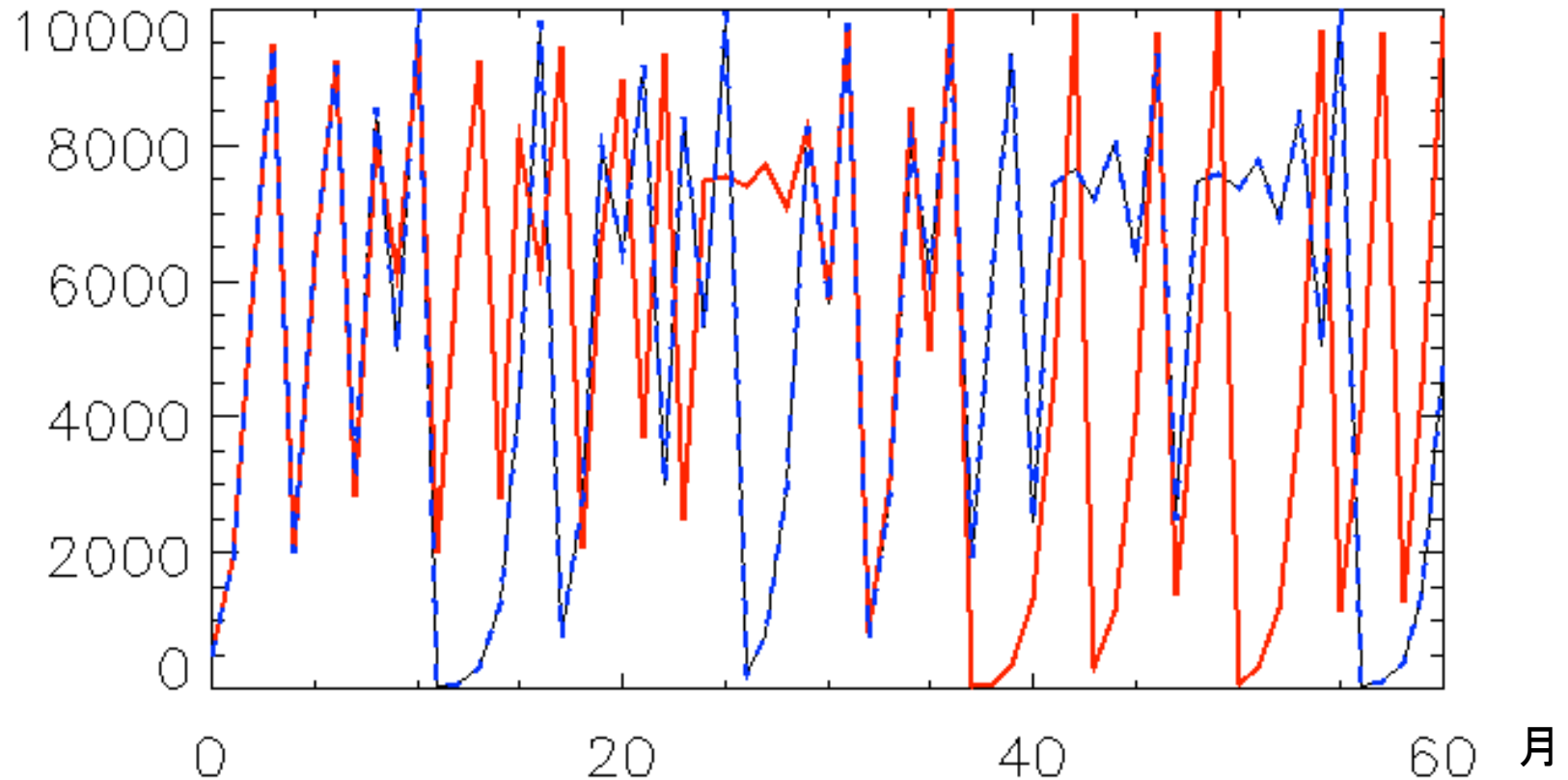
A=0.0003998の場合：まったく予測不能！



同じ形の法則(数式)に乗っていても、少し数値が違っただけで全く違うふるまいを見せる

初期値鋭敏性と決定論的カオス

シカの数



赤:最初のシカの数^が499頭の場合

青:最初のシカの数^が500頭の場合

- 変化の法則は分かっているのに、最初の数^を1匹数え間違えただけで、全く違う変化をする⇒事実上予測不可能!
- これを決定論的カオスという

知っておいて欲しいこと

- 例え現象を支配する法則が分かっているとしても、予測不可能な複雑なふるまい(カオス)が出現することがある。
- 複数の要素がお互いに関係している現象を「複雑系」と呼ぶ。例えば、気象、株価の変動など...
- 複雑系はしばしばカオス的なふるまいを示すため、予測するのが困難

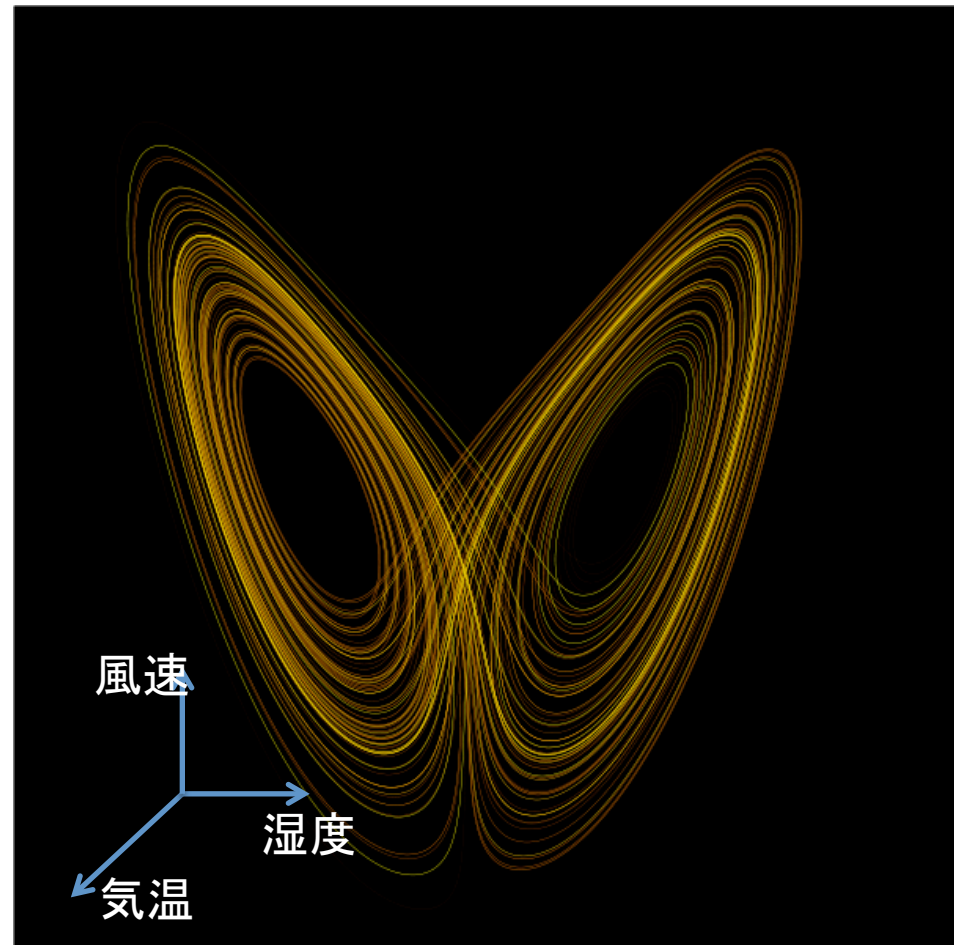
複雑さの中にも秩序がある

ローレンツのストレンジアトラクター
(「グスコブドリの伝記」にも登場!)

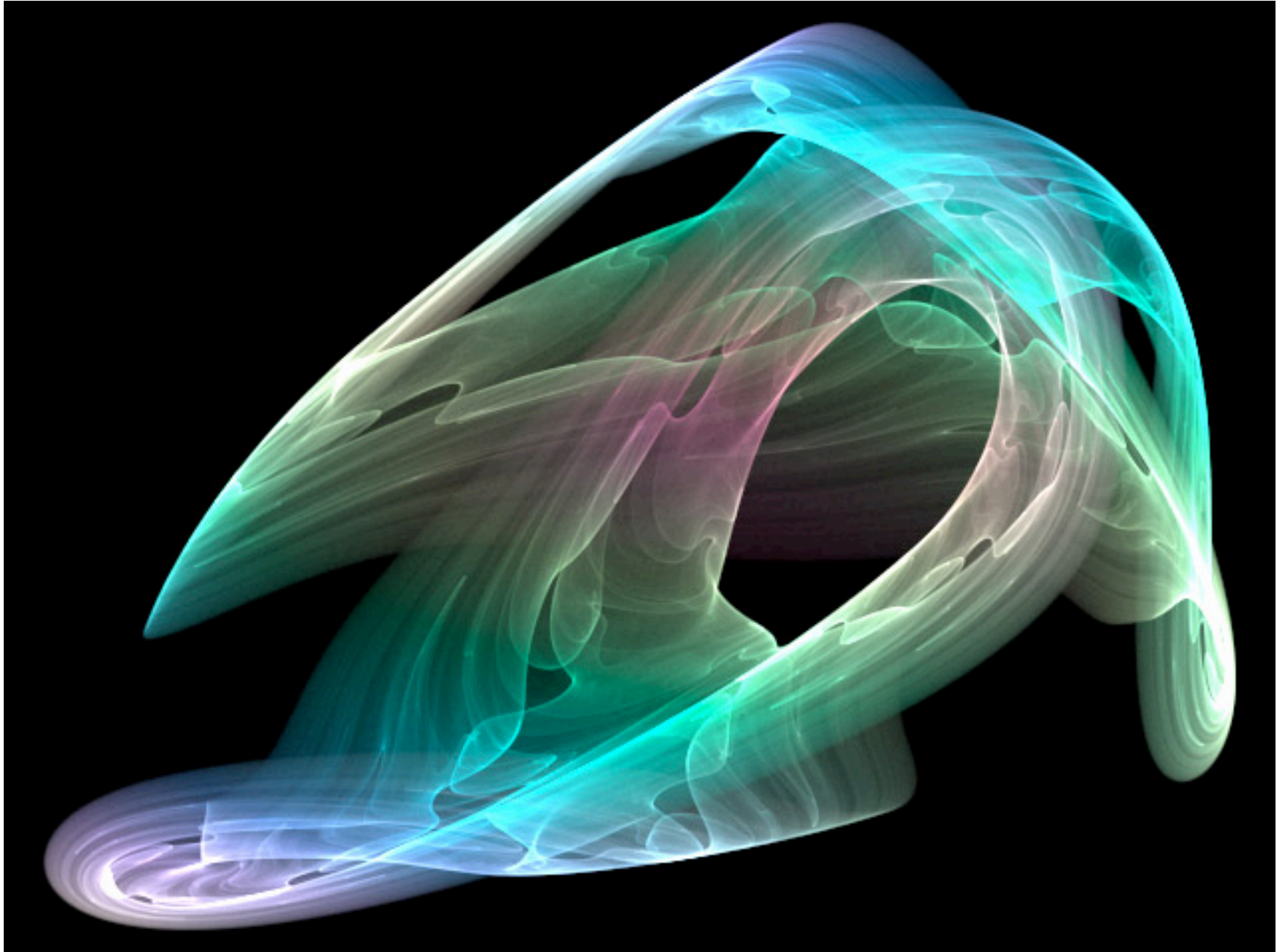
相互に関係した3の量(例えば京都府の風速、気温、湿度)を、3次元空間上の1点で表し、その時間変化を点の移動(軌跡)で表す。

すると、一見ランダムで全く規則性のない変化に見えていたのが、実は一定の規則性を持っていることが分かる

3次元空間上でのこのような軌跡を「ストレンジアトラクター」と呼ぶ



注: 風速、気温、湿度というのはわかりやすい例えで実際にこうなるわけではありません。



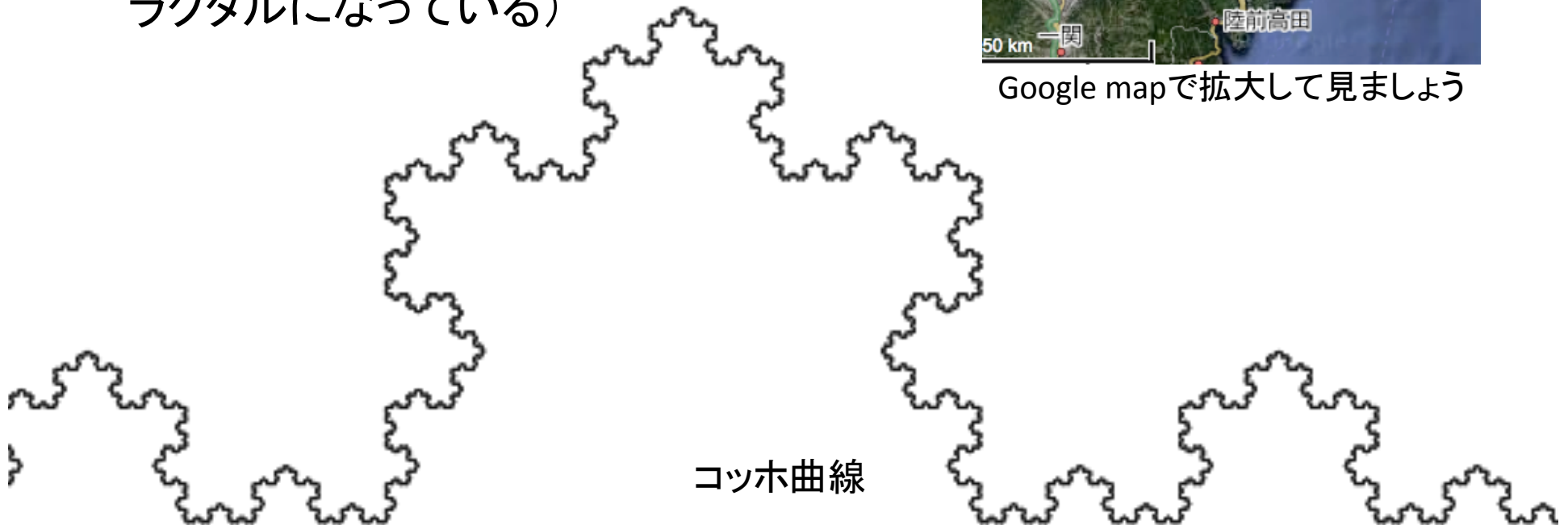
ストレンジアトラクターの例 (wikipediaより)

複雑さに潜む美:フラクタル

- 一部分を拡大しても元と同じ形をしている図形(自己相似)
- 自然界にも多く出現する(例:リアス式海岸)
- 幾何学の概念だが、実は複雑系やカオスと深い関わりがある(ストレンジアトラクターはしばしばフラクタルになっている)

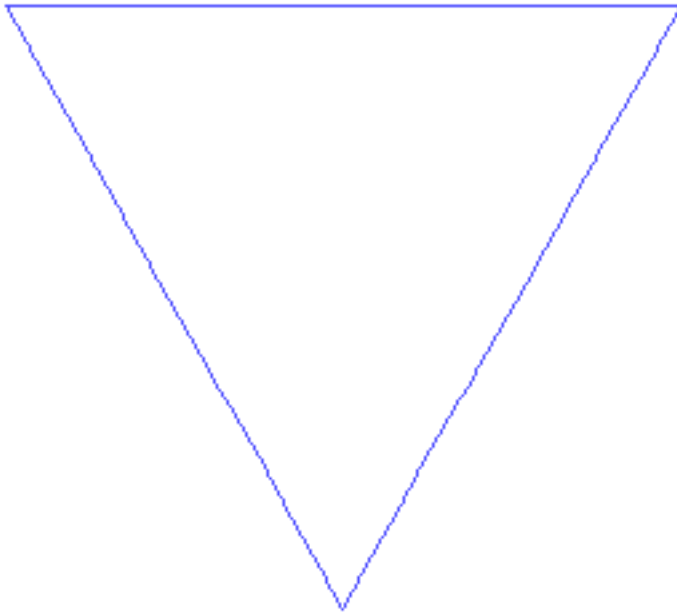


Google mapで拡大して見ましょう



コッホ曲線

フラクタル図形の例



コッホ曲線



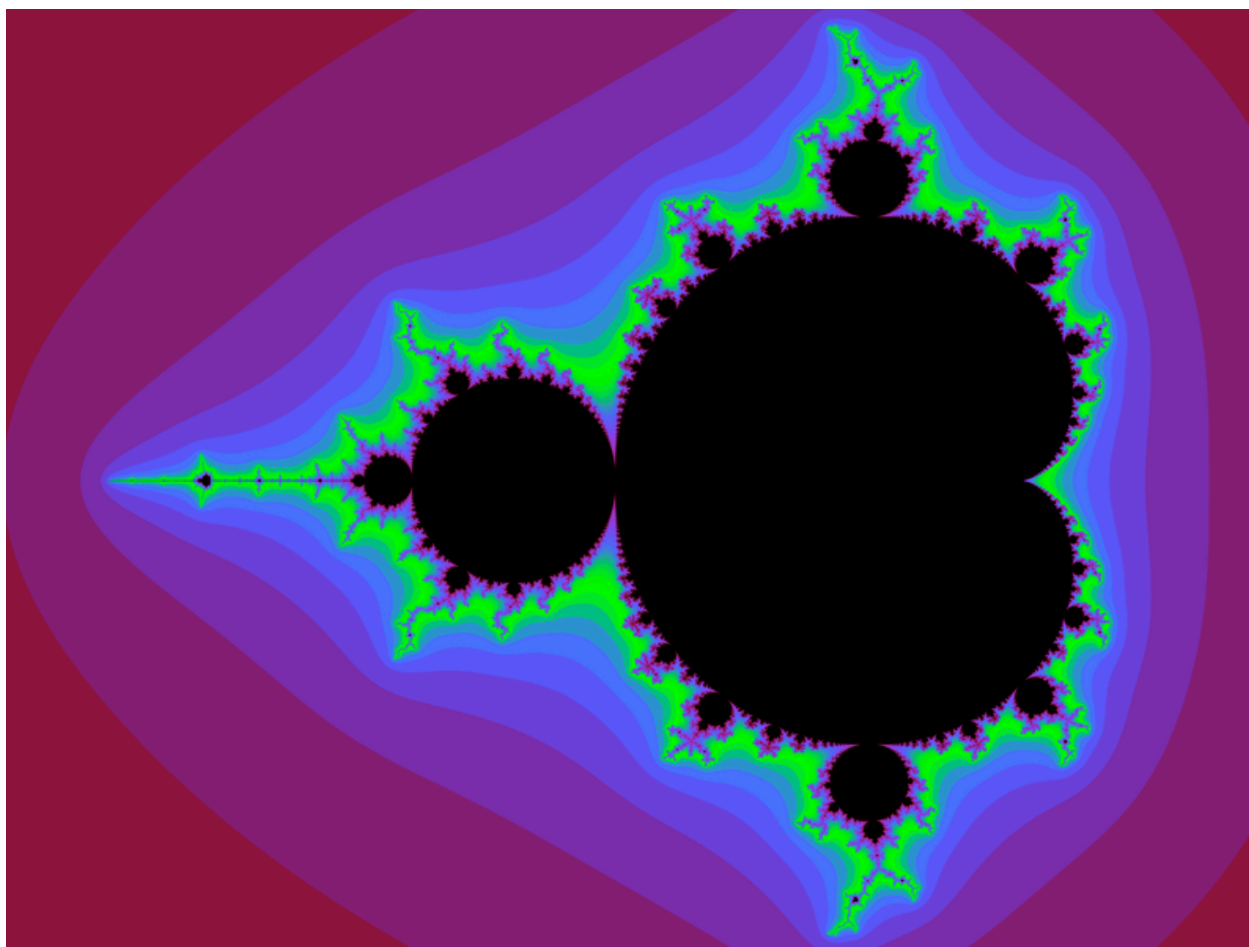
シェルピンスキーのギャスケット

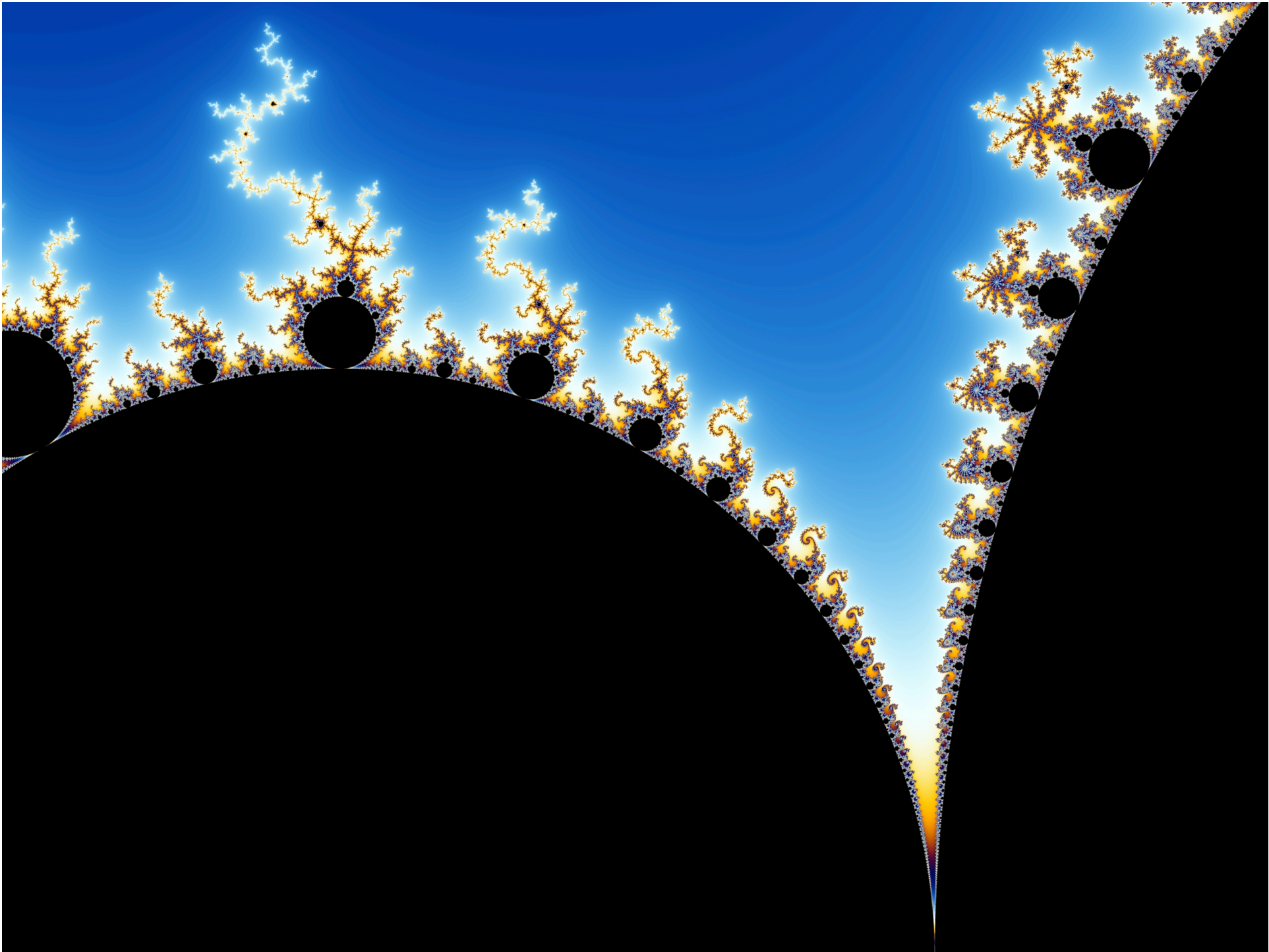
マンデルブロー集合

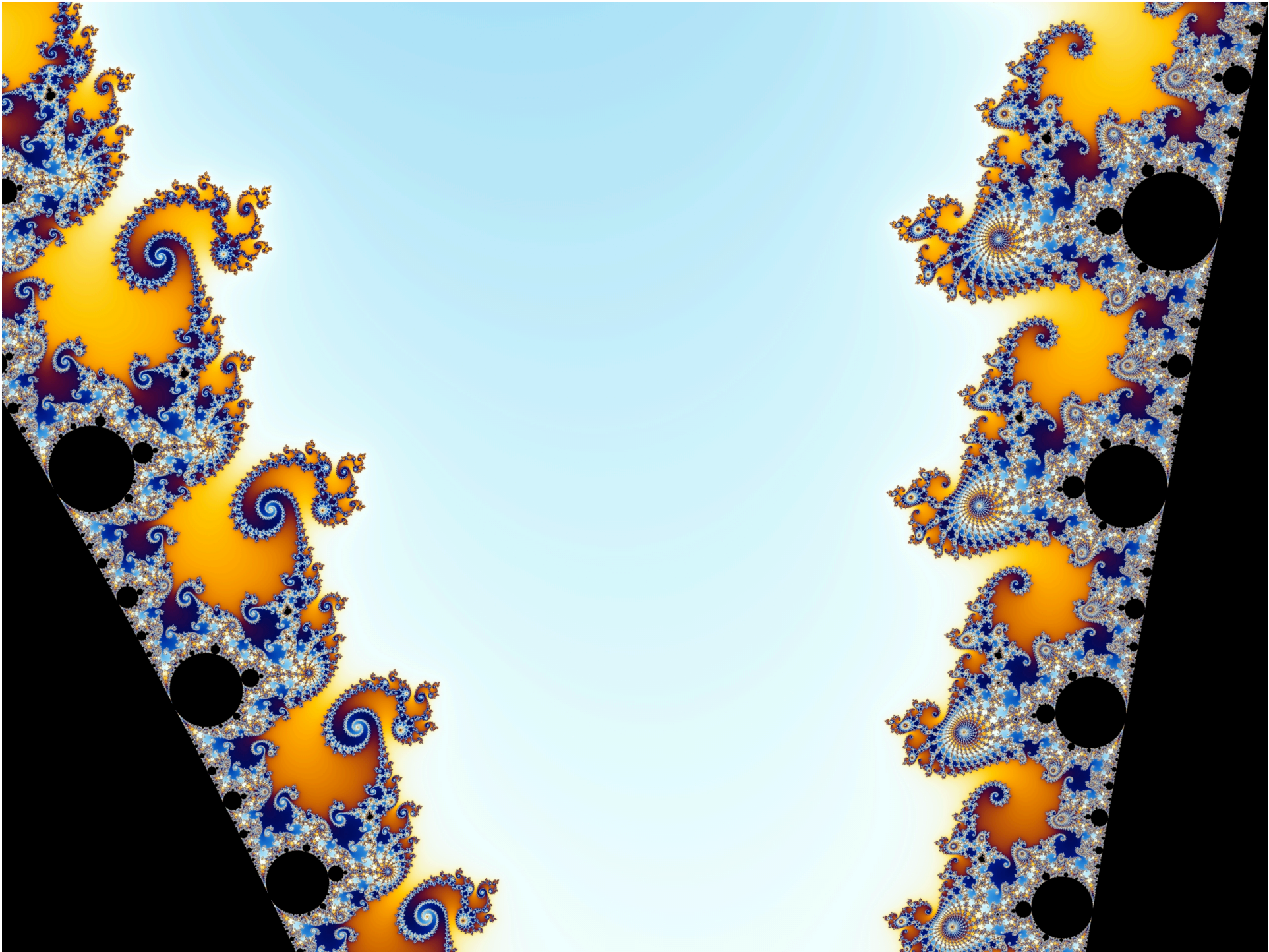
$$z_{n+1} = z_n^2 + c$$

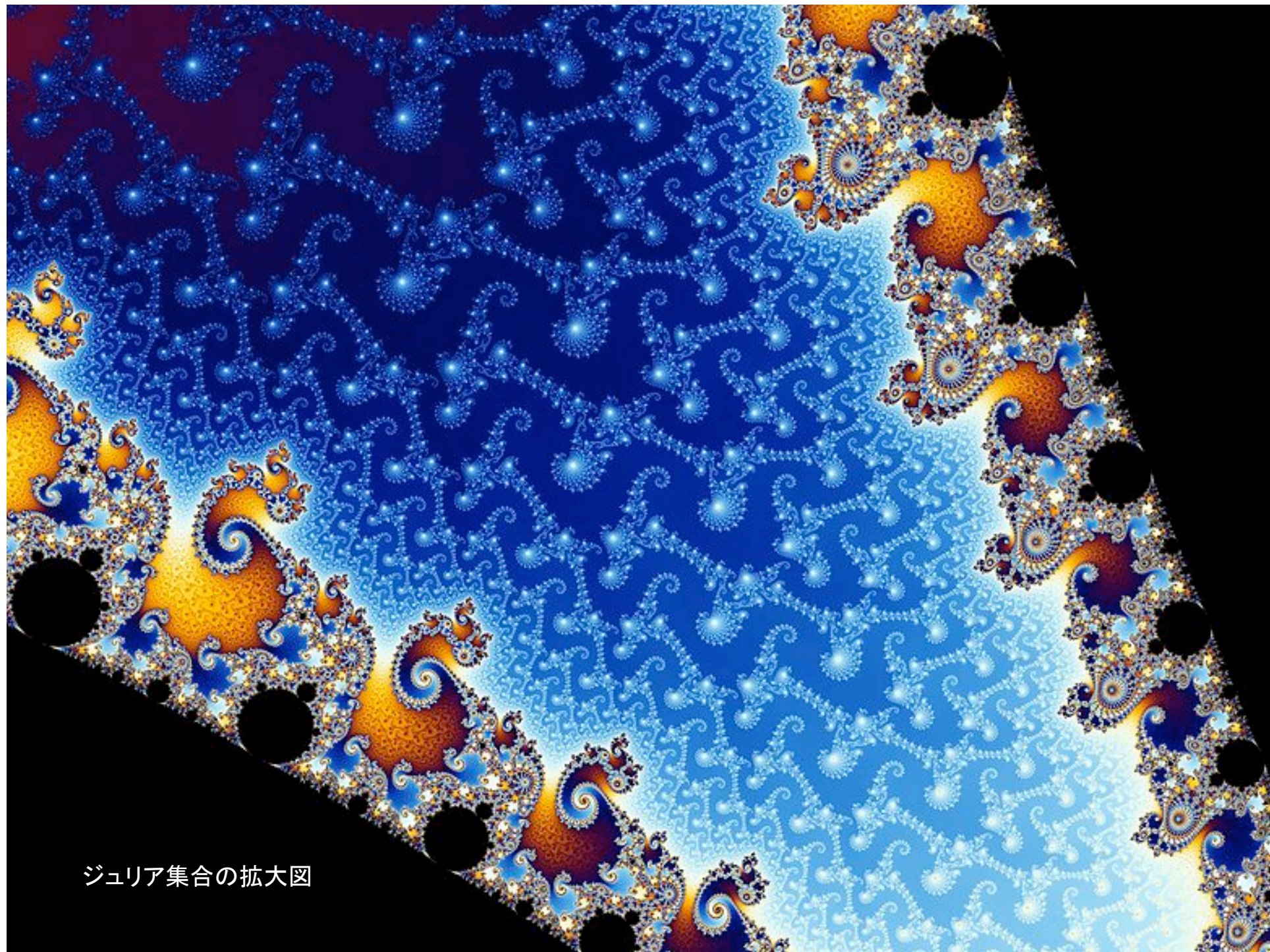
$$z_0 = 0$$

で定義される複素数列 $\{z_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ が $n \rightarrow \infty$ の極限で無限大に発散しないという条件を満たす複素数 c の集合









ジュリア集合の拡大図

科学と芸術表現の親和性

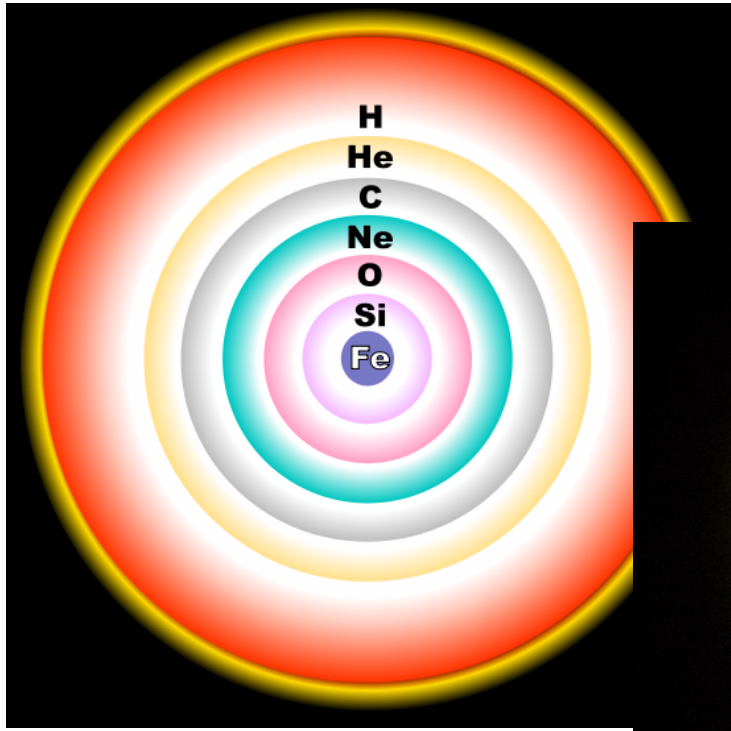
- 科学にも「美しさ」や「面白さ」を追求する側面がある
 - 特に数学や基礎物理学
 - 「美しい理論」、「エレガントな証明」
- 自然の中にある造形美
- 科学の中にもアート素材がある
- 科学者の側は、アート(とかマンガとか)の力を借りて科学を面白く分かりやすく伝えたい

宇宙の歴史は、複雑さを増す歴史？

できたばかりの宇宙は、水素とヘリウムくらいしかない、のっぺりとした世界

銀河ができ、星ができる

Galaxy Cluster SDSS J1004+4112: "Quintuple Quasar"  HUBBLESITE.org

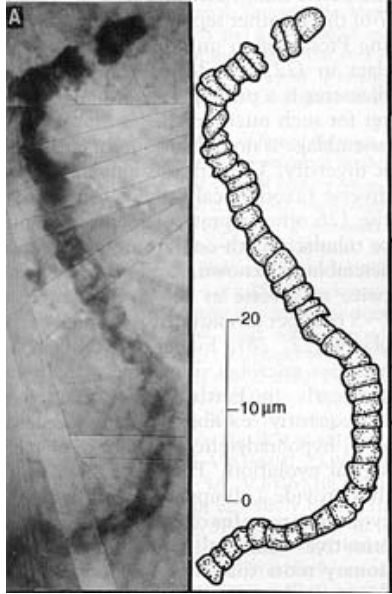


星の中で元素が作られ

星の死とともに宇宙にばらまかれ

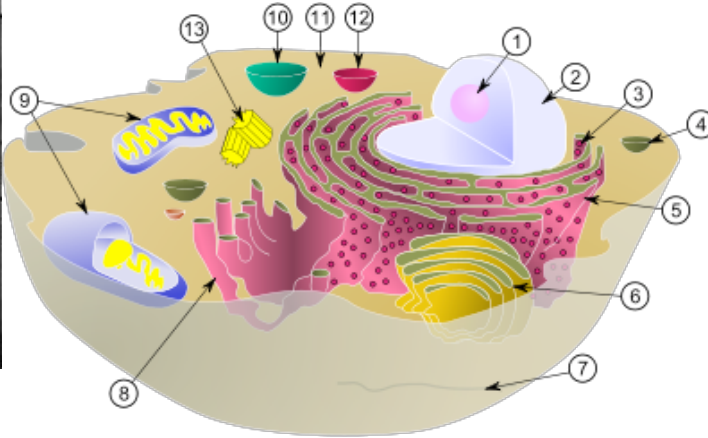


その中から地球のような惑星が生まれる



生命が生まれ

複雑な細胞に進化し



さらに複雑な多細胞生物が誕生し

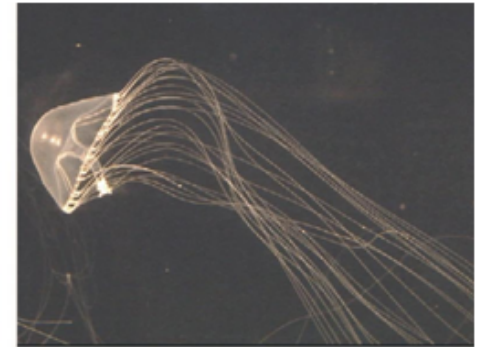


知的に進化

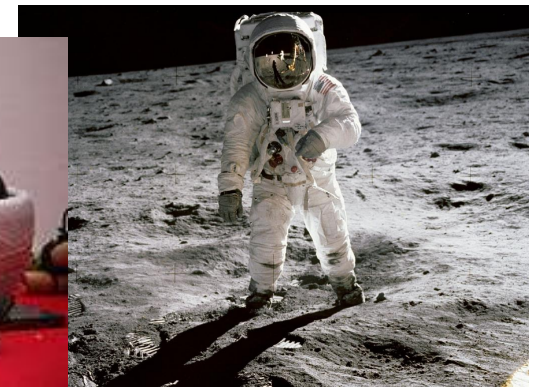


多様性はなぜ大事か？

多様な種の生命がいることで、様々な環境で生存が可能になり、環境が変わっても適応できる



人間は種としては一つだが、多様な文化を発達させてきた



20世紀の宇宙開発の最大の成果



- 「地球は青かった」...ガガーリン
- 「宇宙から見ると国境などない」...宇宙飛行士が口を揃えて言う言葉
- 「米ソの冷戦を終わらせたのは、究極的には宇宙から見た地球の姿である」...立花隆
- 「宇宙船地球号」

それで、いいのか？

- 世界中の人が地球市民という意識を持ち、インターネットでつながり、自由や民主主義といった価値観を共有する世界。
- それは究極のグローバル化。「みんなが同じ文化」「みんなが同じ考え方」で本当にいいのか？
- 情報化と宇宙開発は、人間の世界を再び「複雑」から「均一」に戻してしまっていないか？

多様性の維持には隔絶が必要？

- 創造に満ちた偉大な時代とは、遠く離れたパートナーと刺激を与え合える程度に情報交換ができ、しかもその頻度と速度は、集団・個人間に不可欠の壁を小さくしすぎて交換が容易になり、画一化が進み多様性が見失われない程度に留まっていた時代
(「レヴィ=ストロース講義」平凡社)



レヴィ=ストロース(フランスの人類学者)

多様性とは「みんな違ってみんないい」ではない

- おそらく私たちは、平等と博愛がいつの日かヒトのあいだに、多様性を損なうことなく実現される夢を描いているのだろう。しかし、人類が、かつて想像し得た価値のみの不毛な消費者となり、亜流の作品と幼稚な発明を生み出すことに甘んじたくないならば、人類は、真の創造が、異なった価値観からの呼びかけにたいするある意味の聴力障害を想定し、それが**異なった価値観の拒否、あるいはその否定にまでつながるものである**ことを、学ばなくてはならない（レヴィ=ストロース「はるかなる視線」みすず書房）

アンケート設問

1. 未来の宇宙社会のあり方として望ましいのはどちら？
 - A. 一つの「宇宙政府」が支配する秩序ある世界
 - B. 様々な形態の国、社会が混在する、多様で不安定な世界
2. みなさん自身は、「世界に通じる普遍性を追求する」のと「分かってくれる人は少なくとも独自性を追求する」のと、どちらを目指したいですか？
3. 今日の感想