

第16回 産総研サイエンスカフェ

手と目で感じる立体模型

空間を味わい形を造る

6月19日 金

18:30~20:00

カフェ ベルガ

つくば市竹園1-10-1(カピオ別棟)

定員:30名 要予約

参加費無料
ドリンク軽食つき



http://unit.aist.go.jp/prdep/ci/science_cafe/

技術の進歩は、これまで見たり触ったりすることのできなかつたものを、手に取って観察することを可能にしました。たとえば、あまりに大きすぎて全容を把握することが困難だったもの。あるいは、あまりに小さすぎて目で見ることでできなかつたもの。数式やCGでしかあらわさなかつたもの。単に画像として眺めるのではなく、それらを立体模型にして直接手に取り、じっくり観察することで初めて見えてくる世界があります。

今回のサイエンスカフェでは、様々な立体模型を、実際に手に取って鑑賞していただけます。ご自身で、見て、触れて、感じてください!



講演者
手嶋吉法
デジタル印刷のつくりかた研究センター
シニアエンジニア

参加申し込み・問い合わせ：産総研 広報部
産総研公式HPメールフォーム、メール、ファックス、電話のいずれかで、「6/19産総研サイエンスカフェ参加希望」、名前、人数、連絡先(メールアドレスまたはファックス番号)を添えて、6月11日までにお申し込みください。定員を超えた場合には、抽選とさせていただきます。(抽選結果の通知のため、連絡先は必ず記載・連絡してください)に登録いただいた個人情報を本目的以外に使用することはありません。

- TEL : 029-862-6211
- FAX : 029-862-6212
- MAIL : cafe16@aist.go.jp

印刷物にはQRコードを掲載しております。スマートフォンからアクセスいただけます。



主催：
独立行政法人 産業技術総合研究所
<http://www.aist.go.jp/>

次頁以降のスライドは、
第16回 産総研サイエンスカフェ
(2009年6月19日開催)
で用いたプレゼンスライドの
誤記等を訂正したものです。
(所属等は当時のままです)

スライド内容に関するお問合せ、
立体模型見学のお申し込み、
共同研究に関するご提案 等は、
以下宛にE-mailでご連絡ください。

yoshinori.teshima[at]gmail.com
[at]を@に置き換えてください。

手嶋 吉法
2012年3月

第16回 産総研サイエンスカフェ

手と目で感じる立体模型

空間を味わい 形を造る

6月19日 金

18:30~20:00

カフェ ベルガ

つくば市竹園1-10-1(カピオ別棟)

定員:30名 要予約

参加費無料

ドリンク・軽食つき



http://unit.aist.go.jp/prdep/ci/science_cafe/

産総研 デジタルものづくり研究センター

手嶋 吉法

てしま よしのり

自己紹介

てしま よしのり
手嶋吉法 1970年生まれ

《略歴》

- 0歳～18歳 ひこさん 福岡県の英彦山にて、高校卒業までを過ごす
- 19歳～30歳 つくばで、大学+大学院+さらに数年
- 31歳～36歳 埼玉県の理化学研究所に勤務
- 37歳～41歳 つくばの産総研に勤務

《主な研究テーマ》

- 統計物理(大学4年～大学院)
- 離散幾何の充填問題(大学院～現在) 模型の一部**
- 3次元形状の表現手法と数え上げ問題(理化学研究所時代)
- 立体模型の開発(2006年～現在) 模型の大部分**

《趣味》 ジョギング、テニスなど、スポーツ

空間を味わい、
形を造る

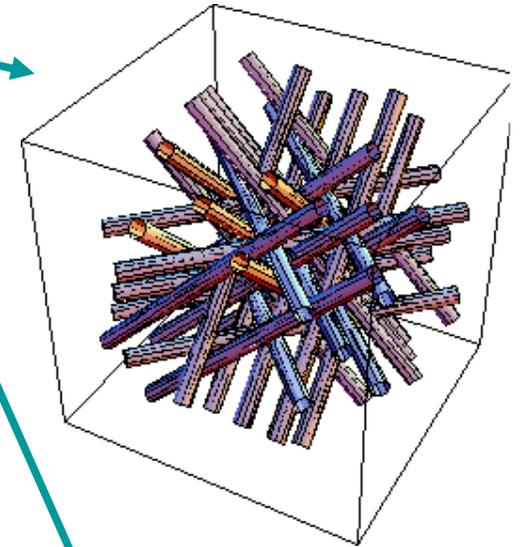
私の研究テーマの1つ: 充填問題

- 物を配置して空間の構造を調べる学問
- 新構造を充填密度や形(対称性)で特徴付け
- 結晶構造理論の基礎

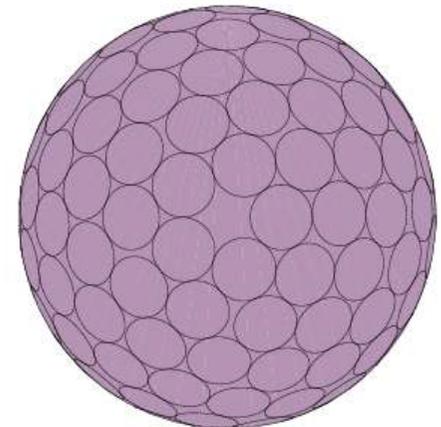
充填問題を始め、空間構造の問題には
未解決問題が沢山残っている

《3次元空間は分からないことが多い》
空間に対する人類の理解度は
まだまだ浅い!

※物理的あるいは化学的な「力」を導入する以前に、
その土俵である空間そのものが難しく、研究対象となる。



円柱の充填
(新しい構造の発見)



球面上に円を充填
(高対称な充填方法)

手嶋の考え方(世界観)

空間という「舞台」が多様性を育む

「3次元空間自体、分からない事が多い」
ということは

「そこを舞台に繰り広げられる現象は、
さらに分からない。様々な可能性を秘める。」

※「現象」・・・物質の振る舞い、
スポーツ選手や芸術家のパフォーマンス、
立体造形の表現など、何でも含まれる。

当然、あらゆる科学技術も
空間を舞台に繰り広げられる。

最も基本的な充填問題として、
「円の充填」や「球の充填」があります

◆クイズ◆

平面上で、1つの円に接触できる
同じ大きさの円は、最大何個でしょう？
(円同士が重ならない様にします)

(A) 5個 (B) 6個 (C) 7個

◆参考(似たクイズ)◆

空間内で、1つの球に接触できる
同じ大きさの球は最大何個でしょう？
(A) 12個 (B) 13個 (C) 14個

← 1694年にニュートンとグレゴリーが
この問題の答えをめぐって
大論争したといわれる難問。
1953年になってようやく解決。

◆ 答え ◆

6個

空間内の

「球の最大接触数問題」

の答えは、**12個**！

※この問題を味わっていただく為、
発泡スチロール球の模型を用意しています。

◆クイズ◆

サイエンスカフェのタイトル：
《手と目で感じる立体模型》

「目と手」ではなく、
「手と目」という順番にしています。
それはなぜでしょうか？

- (A) 手嶋の苗字に「手」が含まれているから。
- (B) 「手と目」→「て め」→「テメー」→「自分」
という意味がこめられているから。
- (C) 手で触って鑑賞できることを重視した立体模型だから。

◆答え (C)◆

科研費・基盤研究(A)プロジェクト

「視覚障害者の立体認識機構の研究
および立体幾何学教材の開発」

2006年度～2009年度

目的:視覚障害者の触覚鑑賞の世界を
豊かにするべく、様々な立体模型を開発

研究代表者:手嶋(産業技術総合研究所)

研究分担者:池上(産業技術総合研究所／理化学研究所)

大内(国立特別支援教育総合研究所)

金子(国立特別支援教育総合研究所)

藤芳(大学入試センター)

山澤(理化学研究所)

渡辺(帝京平成大学／産業技術総合研究所)

我々の立体模型プロジェクトの出発点

触れない模型



ドイツの数学者クラインを中心とした
1870頃の幾何学模型製作プロジェクト。
貴重な模型ゆえ、手で触る事は
出来ない。(石膏模型)

世の中の博物館や美術館も同様であり、
触れるものは殆ど無い。

触れる模型



数学曲面「サイクライド」(光造形)

現代の技術を使うと
超一流の数学者や熟練工に
頼らなくても、自分で数学曲面模型
を造る事が可能である。

手嶋の主張: 曲面の数式など知らなくても、
形を知ることがまず大事!

これまでの模型開発方針

目的 「視覚障害者の触覚鑑賞の世界をより豊かにする」



日常生活では触ることが出来ない物を模型として提供



1. 触察可能なサイズ(手のひらサイズ)と実物のサイズが著しく掛け離れている場合
巨大物(例:惑星)、微小物(例:プランクトン)
2. 抽象物。人間の思考の産物であるから、実体化してやらない限り自然界に存在しない。
数学曲面、多面体、芸術作品など

ご存知ですか？「共用品」

身体的な特性や障害にかかわらず、
より多くの人々が共に利用しやすい製品



例えば、
缶入りアルコール飲料には、
ジュースと間違えて飲まないように
プルタブのそばに
点字で「おさけ」と書かれています。

《豆知識》**共用品の類義語**
アクセシブルデザイン
ユニバーサルデザイン
バリアフリーデザイン
インクルーシブデザイン

- 「共用品」および類似概念の考え方を知った。
- これまでプロジェクトを続けてきた中で
立体模型の一般的な重要性をヒシヒシと感じる。

「視覚障害者の為の模型」から 「一般模型（共用模型）」へ移行

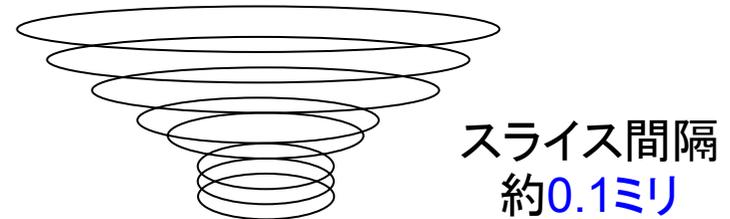
晴眼者は三感「**触る**・見る・**聴く**」、
全盲の方は二感「**触る**・**聴く**」を使って、
同じ立体模型を鑑賞。

晴眼者は触覚鑑賞をしばしば活用していない！
より良い立体認識の為に触覚情報を活用すべきでは！？
バーチャルモデルからリアルモデルへ

立体模型作製の強い味方！

積層造形法

- 光造形（紫外線レーザー、可視光）
材料：光硬化性樹脂（エポキシ系、アクリル系）
- 3D プリント
材料：石膏粉末
- レーザー焼結
材料：ナイロン粉末



形状データさえあれば、
この方法により、
複雑な三次元模型も
正確に造ることが出来る。

3次元形状のデータをスライスし、
多数の断面形状の総和として
3次元形状を表す。
それら断面形状に基づいて、
下から順に材料を固め、積上げていく。

積層造形機の具体例 (産総研所有の装置)

形を造る技術

3D プリンタ : Z406 system



(上部の説明)

- 新しい粉末が上面左の四角領域から供給される。
- 模型は、中央の四角領域内に作られていく。
- 四角領域の底面は、上下に動く。
- 黒い部分が左右に動き、粉を薄く敷き(厚さ約0.1ミリ)、バインダを撒く。

(下部)

- 手前の3つの容器: バインダ液, 廃液, 洗浄液
- 左側: カラーバインダ(シアン、マゼンタ、イエロー)



立体模型が出来るまでの流れ (積層造形機が3Dプリンタの場合)

1. 3次元形状データを用意する
(例:自分でデザインする。実物を形状計測する。)
2. 造形の準備をし、造形を開始する。
 《待つ》
3. 出来上がった模型を掘り出す。
4. 表面の粉末を吹き飛ばす
5. 表面を強化する処理
(例:ロウ漬け。アロンアルファ含浸。)

火星儀の場合

造形開始時刻 2009年6月15日14時06分
終了予定時刻 2009年6月16日5時24分
所要時間 15時間08分39秒
全レイヤー数 2105
バインダー使用量 512.8ml

ムービー
と
写真

サイエンスカフェ 模型MENU

幾何学模型

数学曲面(4種)

クラインの壺

正多面体(5種)

準正多面体(16種)

13球問題の説明模型(2種)

惑星儀

地球、月、火星、金星

結晶学模型

空間充填する立体(2種)

3次元エッシャー立体

円柱充填構造(3種)

プランクトン の骨格模型

放散虫(2種)

有孔虫(1種)

街中で見られる面白い立体

この形は何？ 少し立ち止まって、考えてみましょう。



正六角形の石板を積上げたラセン
(つくばの遊歩道)



正方形がウェーブした軌跡
(つくばの遊歩道)

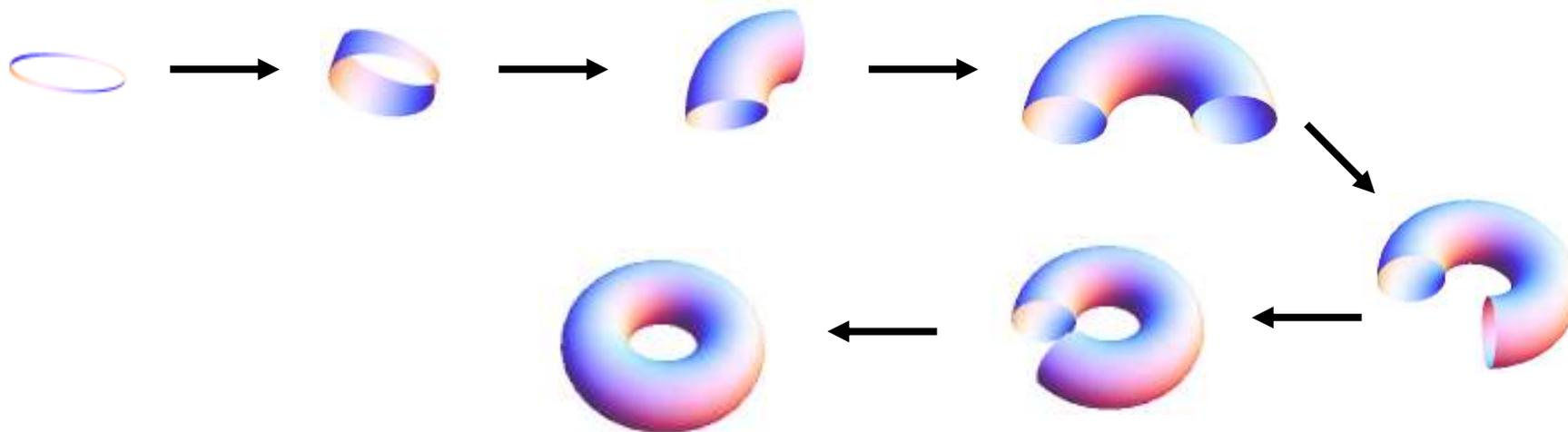


水戸芸術館の展望塔
『アートタワー水戸』

簡単な形が空間内を動いた軌跡として、面白い形が現れる。

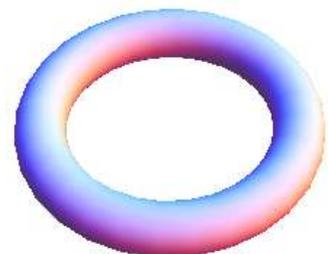
簡単な形が空間内を動いた軌跡として、面白い形が現れる。

「円が円運動した軌跡」は、ドーナツ形状。



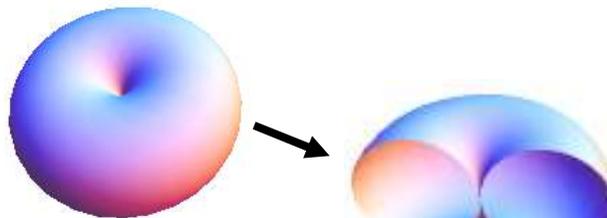
ちなみに、、、

円運動の半径を大きくすると



穴の大きなドーナツ

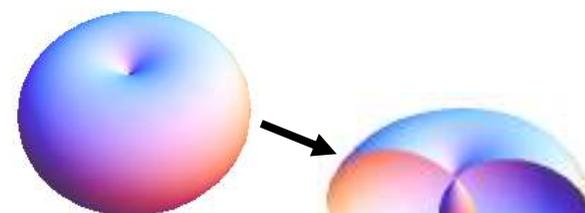
円運動の半径を小さくすると



穴無しドーナツ
(窪み:深い)

断面

円運動の半径をさらに小さくすると



穴無しドーナツ
(窪み:浅い)

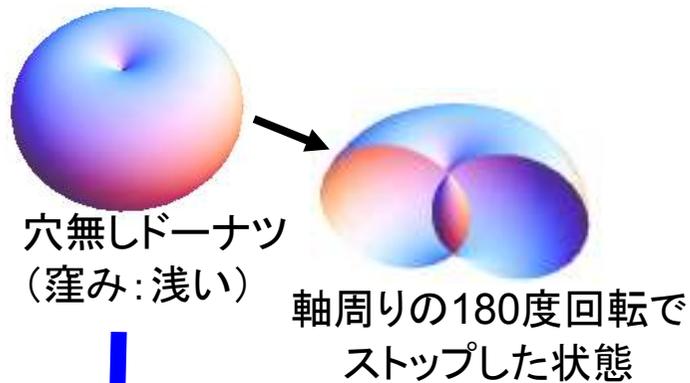
断面

解説：フラフープ曲面

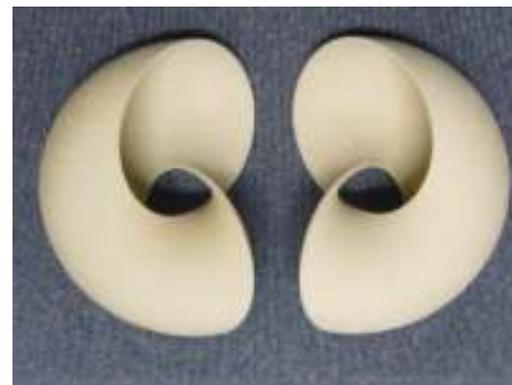
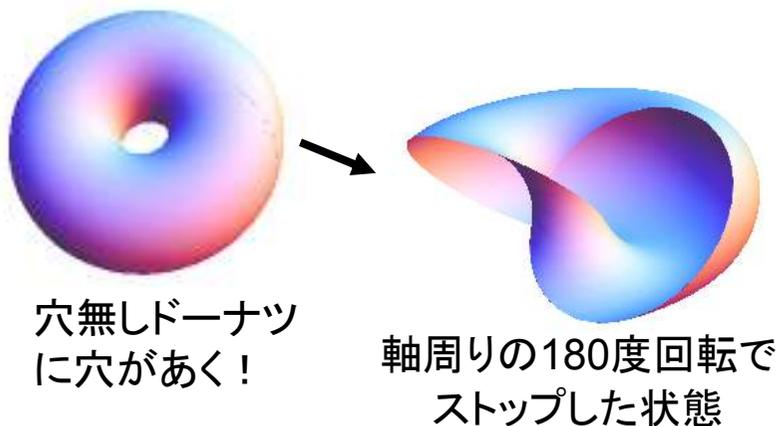
ミスドーナツは、円を水平面に対して45度の角度にキープしたまま、垂直な軸の周りに180度回転させたもの。鏡像異性体(右手系と左手系)が存在する。

円が垂直な場合

円運動の半径が小さくなると



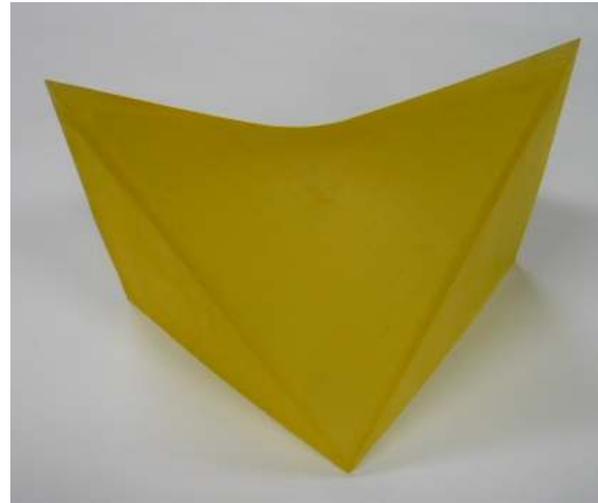
円を45度に傾ける



数学曲面の模型あれこれ



古典的数学曲面
「デュパンのサイクライド曲面」



古典的数学曲面
「双曲放物面」



つくばの遊歩道にもある！
(松見公園とメディカルセンター間)



数学曲面
「フラフープ曲面(180度回転まで)」



数学曲面
「ボヘミアンドーム」

メビウスの帯

帯の両端を普通に繋いで輪をつくると、外側面と内側面は分離している。繋ぐ時に、片方の端を180度ひねると、帯の外側面と内側面の区別が消える。



クラインの壺

ゴム管の両端を普通に繋いで輪を作ると、ゴム管の外側表面と内側表面は分離している。次に、「一方の端の外側面」と「他方の端の内側面」を繋ぎたい。これは3次元空間では、実現不可能だが、強引にやると模型の様になる。4次元空間では自然に実現でき、外側面と内側面が繋がると同時に、外側空間と内側空間が繋がる。



3次元では面の交差が起こる

正多面体とは？

1種類の正多角形だけで構成された多面体。

例：立方体（正6面体）



準正多面体とは？

2種類以上の正多角形で構成された多面体。
ただし、どの頂点周りも同じ形。

例：切頂20面体（サッカーボール型）



◆クイズ◆

正多面体は、全部で何種類あるでしょうか？

3種 4種 5種 6種

◆参考(似たクイズ)◆

準正多面体は何種類あるでしょうか？

13種類 14種類 15種類 16種類 無数

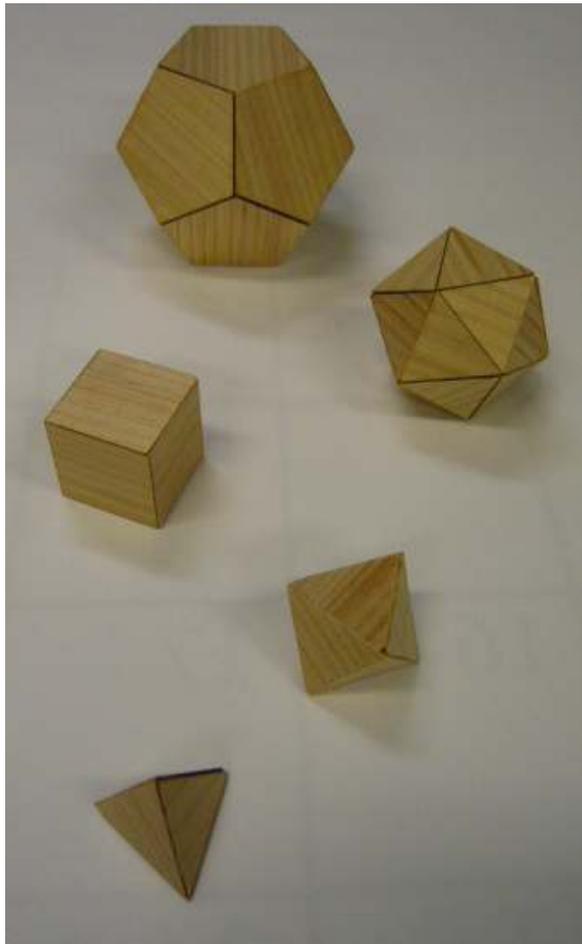
◆答え◆

正多面体：**5種類**

準正多面体の種類

考え方次第で、どれも正解いえます(説明は省略)。
展示パネルでは16種類としました。

多面体の模型一覧



正多面体(全5種類)
板材の貼り合わせ



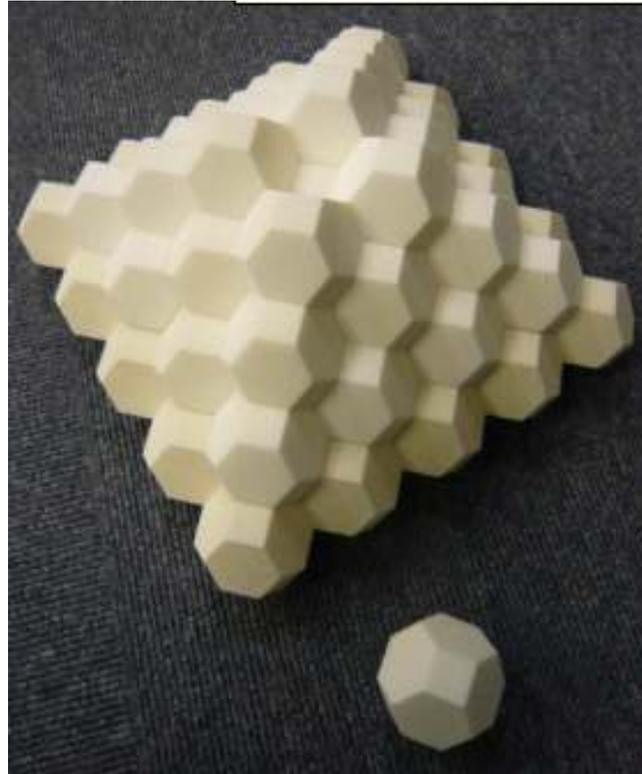
準正多面体(全16種類)
積層造形(ナイロン粉末:レーザー焼結)

空間を隙間無く充填できる形の模型一覧

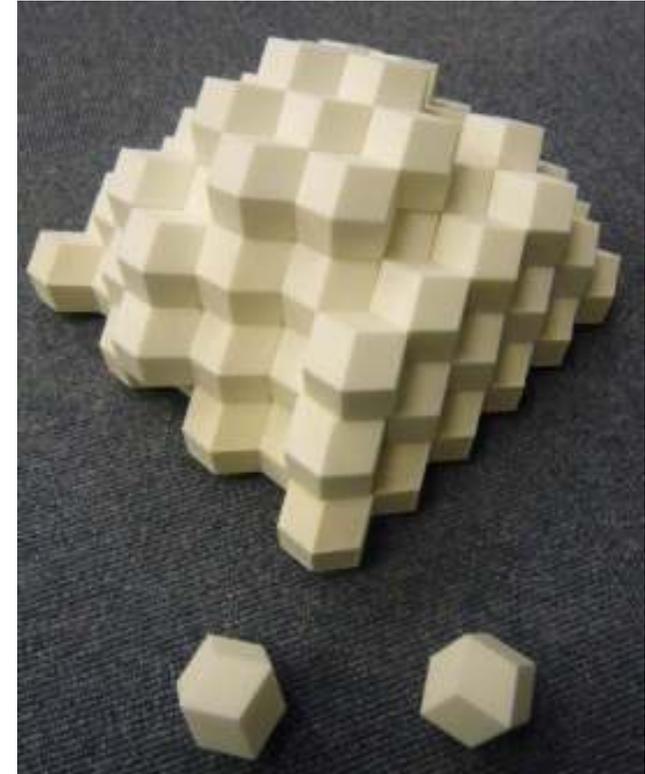


※立方体を
寄せ集めた図は
省略

立方体
単純立方格子



切頂8面体
(別名:ケルビンの14面体)
体心立方格子

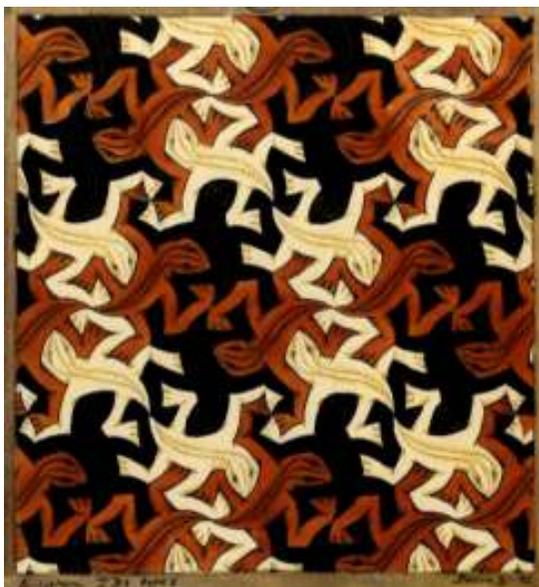


菱形12面体
面心立方格子

直方体など空間を隙間無く充填する多面体は無数にあるが、この3種類は、別格！
正多面体に1つ、準正多面体に1つ、双対多面体に1つしかない。



M.C.エッシャー
(オランダの画家)
の代表作の1つ



『スーパーエッシャー展』107頁より。
トカゲの形の繰り返しによる
平面の完全充填
(あるいは平面分割)

繰り返し構造 = 結晶構造

エッシャーパタンの 3次元対応物！

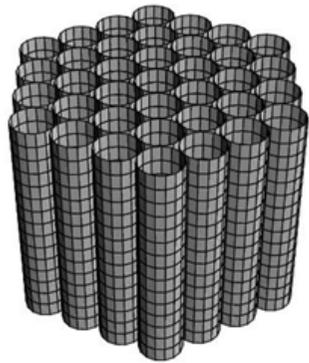


デザイン 西尾晋作

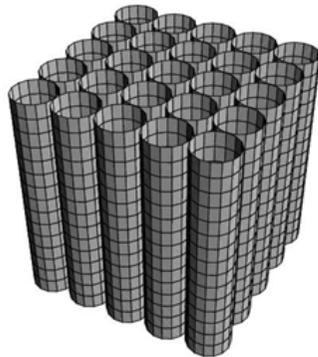
木の形の繰り返しによる
空間の完全充填
(あるいは空間分割)

Y. Watanabe, Y. Ikegami, Y. Murakami,
K. Yamazawa, and Y. Teshima,
Acta Crystallographica, Vol.A64, pp.C634, 2008

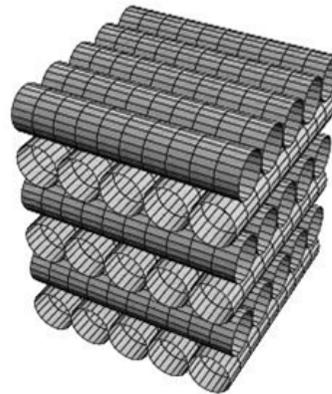
円柱充填の模型一覧



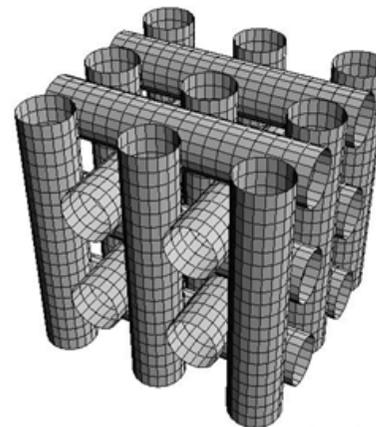
1方向
(三角格子)



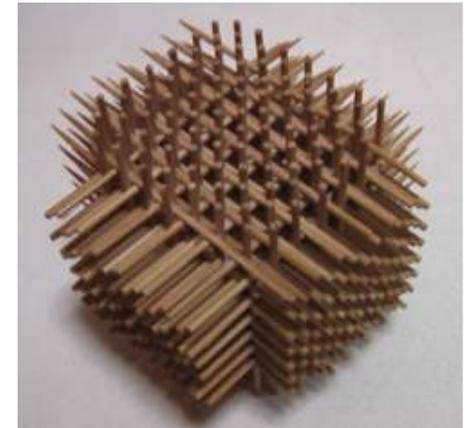
1方向
(正方格子)



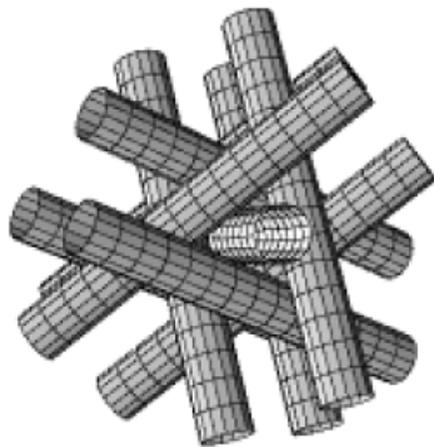
2方向



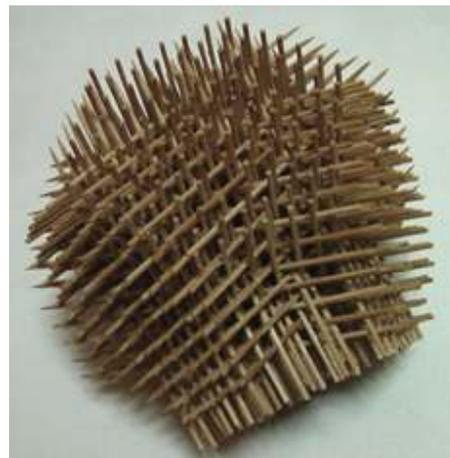
3方向



3方向
(密度1/2)



4方向



4方向
(密度1/3)



6方向



複合強化材料

◆クイズ◆

太陽系の中で、最も高い山は、
どの星にあるでしょうか？

水星 金星 地球 火星 月

《豆知識》

太陽系の惑星の中で、固体の惑星は
水星・金星・地球・火星の4つだけです。

◆答え◆

火星

3つの巨大火山

オリンポス山
(標高27km=太陽系の最高峰)

マリネリス峡谷
(全長4000km=太陽系最大の峡谷)

地形データ：米国NASA公開データ
造形方法：積層造形法 (3Dプリンタ)
材質：石膏粉末

実物サイズ：3397 km (半径)
縮小率：1/33,970,000
起伏強調倍率：25倍



惑星儀 一覽



火星儀

実物半径: 3397 km
起伏強調倍率: 25倍



金星儀

実物半径: 6052 km
起伏強調倍率: 50倍



地球儀

実物半径: 6378 km
起伏強調倍率: 50倍



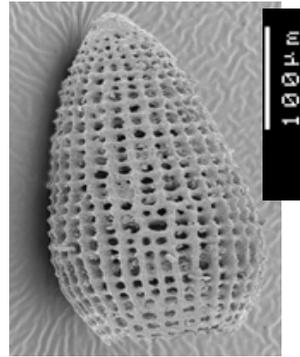
月儀

実物半径: 1738 km
起伏強調倍率: 12.5倍

惑星儀開発のポイント: 惑星探査(人工衛星)の地形データを活用。
起伏を強調し、触覚鑑賞をサポート。

放散虫とは？

原生生物であり、
海のプランクトンです。
非常に多様な形状を示します。



放散虫の
電子顕微鏡写真
(提供:松岡篤氏)

有孔虫とは？

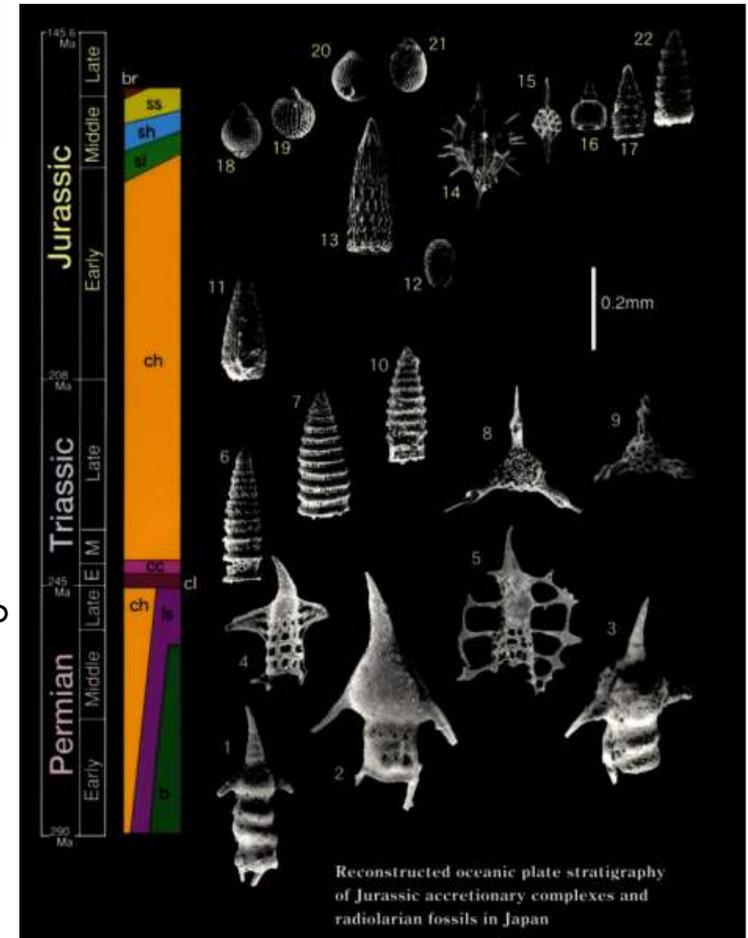
原生生物で、浮遊性(プランクトン)するもの
もいますが、底生(海の底にいる)が主です。
非常に多様な形状を示します。

放散虫も有孔虫も、
示準化石(地層の新旧を示す化石)
および示相化石(環境を示す化石)として
地質調査上、大変重要な生物です。

お土産として小瓶に入れて売られている
「星の砂」の正体は、底生有孔虫です。

画像提供:兼子尚知氏(産総研)

プランクトンの骨格



放散虫の形状と地質年代の対応
(地質調査所カードより)



プランクトンの骨格模型一覧

プランクトンの骨格



放散虫(タワー形状)

学名 : Svinitzium pseudopuga
Dumitrica

実際のサイズ : 200ミクロン
拡大率 : 1600倍



放散虫(2本ヅノ形状)

学名 : Pantanellium riedeli
Pessagno

実際のサイズ : 300ミクロン
拡大率 : 830倍



底生有孔虫

学名 : Elphidium

実際のサイズ : 500ミクロン

拡大率 : 400倍

※内部の細かいヒダの役割は未解明。

ポイント: マイクロX線CTで取得した形状データを活用した模型《世界初》

現時点では、研究支援模型としての価値が高い。

2分割模型を用意することで、触覚鑑賞および内部観察をサポート。

◆クイズ◆

放散虫と有孔虫は、
多細胞生物？単細胞生物？

(A)どちらも多細胞生物

(B)放散虫が多細胞、有孔虫が単細胞

(C)有孔虫が多細胞、放散虫が単細胞

(D)どちらも単細胞生物

◆ 答え ◆

(D)どちらも単細胞生物

立体模型の開発：今後の展開 (最近私が考えていること)

「視覚障害者の為の模型」から
「一般模型(共用模型)」へ

晴眼者は三感「触る・見る・聴く」、
全盲の方は二感「触る・聴く」を使って、
同じ立体模型を鑑賞。

「立体教材」や「プレゼン道具」としてだけでなく
「科学研究推進ツール」としても

- 観察記録を2D図から3D模型へ
- 研究者にとっても空間構造の把握は難しい：正確な模型で考察
- 新しい物質構造の探索

終

ご清聴、ありがとうございました

謝辞 協力いただいた方々（敬称略）

プロジェクトメンバー

池上祐司（産業技術総合研究所／理化学研究所）
大内進（国立特別支援教育総合研究所）
金子健（国立特別支援教育総合研究所）
藤芳衛（大学入試センター）
山澤建二（理化学研究所）
渡辺泰成（帝京平成大学／産業技術総合研究所）

プロジェクトメンバー以外

- 結晶学教材に関する助言：松本崧生（金沢大名誉教授／産業技術総合研究所）
- 放散虫・有孔虫のサンプル提供：松岡篤（新潟大）
- マイクロX線CT撮影協力：東陽テクニカ社(Skyscan 1172)
- 惑星儀造形用データ作成：中野司（産総研）、田中明子（産総研）
- 貼り合せ多面体製作：中川宏（木工多面体職人）
- 数学曲面模型に関する共同研究：小川泰（筑波大名誉教授／産業技術総合研究所）
- サイクライド曲面デザイン：加瀬究（理研）
- 模型開発に関する助言等：前川仁（産総研）
- 積層造形機Z406管理：山下樹里（産総研）
- 複合強化材料4軸構造提供：福多健二（つくば繊維技研）
- 数学曲面の分類に関する助言：竹内伸子（学芸大）