

銅器を作る人々が金属をもっと硬く長もちさせることをおぼえると、鉱石の中に、純粋な銅よりも低い温度で融け、融けた状態で流れやすい金属ができるものがあることもわかってきた。この銅の特性を著しく改善するところにかかわる元素は錫だった。砒素の場合と同様、錫は銅を硬くする。**錫の理想の比率は十パーセントほどで、青銅と呼ばれる合金**ができる。最初の本当の青銅は、紀元前三〇〇〇年頃のメソポダミアの考古学的史料の中に現れる。しかし何百年もしないうちに、青銅製のものはエジプトからキプロスまで、近東全体で見られるようになる。

青銅は融点が低く、変形しやすく、硬さも増したので、青銅製の品は製造しやすく刃も長もちした。石と銅の間にある素材ができたのであり、それは工具、武器、器、芸術作品用の金属として、急速に銅に置き換わっていった。銅と錫は古代世界の戦略物質になった。この金属を掌握した文明は、ものの壊れ方を掌握し、それによって古代世界を支配した。

鉄は隕石の形で、銅の時代が始まった頃から手に入っていた。しかしツタンカーメン王が亡くなった頃にはほとんど使われていなかった。劣った金属と考えられていたからだ。鉄は青銅器時代の炉では融解せず、融けた鉄として鉱石から分離することができなかった。鉱石を加熱することによって一部が分離され、高濃度の鉄が**鉱滓**こうさい（二酸化珪素などの不純物）と混じった「鋼片」ブルームになった。この鋼片は何度も加熱され、叩き延ばされて**鉱滓**が追い出され、**錬鉄**と呼ばれるほとんど純粋な鉄ができた。しかしこの形では、鉄は柔らかく、叩くことで硬くすることはできたものの、**青銅器の場合と同様、刃ができなかった**。おまけに、酸化が進まないような酸化物（**受動酸化物層**と呼ばれ、青銅の工芸品にある美しい緑青の素）ができる青銅とは違い、鉄は酸化が続き、湿気にさらされると錆びて腐蝕してしまう。四千年前に作られた青銅器の武器は、手入れをするとそれが鍛造された当時と同じように輝くが、紀元前四世紀の鉄の武器は、ほとんどそれとはわからないほど腐蝕してしまっている。こうした不利益にもかかわらず、鉄は紀元前第一千年紀が始まる頃には、青銅器に取って代わることになる。

===WE b===

受動酸化物層・・・検索でパッと出てこない

空気中の水分と二酸化炭素などが反応した緑色のさび（緑青） 5

<http://www.kagaku21.net/QA50/kaisetsu/kai2-1.html>

====

いい鉄を作る秘訣が見つかったのはおそらく偶然によるものだろう。**錬鉄**を作るときには、鉄の鋼片を何度も加熱し、それから叩いて延ばす。鋼片の温度は摂氏八百度以下に落としてはいけない。そうでないと、鍛えにくくなる。鋼片は絶えず炭火に入れられ、そこで一酸化炭素からできた炭素にさらされる。炭素の一部は鉄の表面に広がり、純鉄よりも硬い合金になる。この合金こそが鋼鉄で、鉄の表面に炭素との合金処理をすることを、「鋼をかぶせる」ステイラーリングという。

極東における鋼づくりの模範的な例は、日本の**武士の刀と鎧**だ。これらの道具作りは、何らかの形で紀元後八〇〇年頃から行なわれてきた。ウーツ鋼とは違い、刀における炭素分布は層をなしている。錬鉄の小さな塊を鍛え、半分に切り、それを二枚重ね、再び鍛えられる。これを十五回繰り返すと、三万数千の層になる。最終回で刀の形にし、泥土を、刃の方は薄く、刀身の方には厚く塗る。泥をまとった刀は、朝日の色に輝くまで加熱し、そこまで達したら水に入れて焼き入れする。すると、泥の厚さが違うため、刃の方が刀身よりも速く冷える。このように層を作り、さらに加熱する処理によって、**信じがたいほど硬い刃と、しなやかな刀身の刀**ができる。

飛行機の機体のような重要な

部分の亀裂が、臨界の長さ、つまり亀裂が不安定になり、ただ伸びる一方になる長さに達することはめったにない。素材の開発の一部として、与えられた応力（ストレス）の大きさについて、亀裂が臨界に達する大きさが調べられ、わかっている。この長さがわかっていたら、信頼できるものが設計でき、耐用年数前の故障による破局的な結果はめったにない。ともあれ、これが現在達している水準だが、それ以前の七十五年間は、予想外の破損があたりまえだった。製造物には予想される寿命などなかった。

物質にある原子を見て、それが結晶かガラス質かを見分けられるようになるずっと前から、割れ方を見れば、それがどちらかはわかっていた。方解石や岩塩のようなありふれたものから、もっと高価なダイヤモンドやサファイアのようなものも、割れると滑らかな面ができる。この過程を劈開（へきかい）という。これらの素材は、面取りした多角体にすれば、それが光を回折して、内側から輝いているように見せることができる。この美しい光と破片の面との相互作用が、宝石にその価値を与えているのである。

継父けいふ

「継父」は、母親の再婚相手

鋼鉄の方が青銅より硬くしやすいのは、鋼が鉄と炭化鉄という、別種の結晶でできているからだ。鉄の結晶を自由に動ける転位も、炭化鉄では動けず、鉄／炭化鉄結晶粒界にたまっていく。驚異の日本刀は、その見事な特性を、鋼を何度も折り重ねて、この境界の数を膨大にすることから引き出している。こうすると、鋼に焼き入れのための泥土を塗ることと相まって、刃が刀身よりも速く冷えるようになる。刀鍛冶は知らなかったことだが、この焼き入れで小さな結晶粒がたくさんでき、そこで鋼は急速に冷え、ゆっくり冷える部分では結晶粒が大きくなる。その結果、鋼は鋭い刃、つまり小さな結晶粒がたくさんあって、鉄と炭化鉄の結晶粒界で転位が動くのを止めている部分と、もっと軟らかくて曲がりやすい刀身、つまり、大きな結晶粒ができて、転位が動きやすくしている部分とができて、それが維持されるようになる。

ボストンではまず、ここは寒いところらしいと思った。テレビのニュースでは、気温は摂氏マイナス十度と報じていた。コロラド少年としては、このことは大したことではない。デンバーでは、マイナス二十度近いことも珍しくない。しかし穏やかなボストンのマイナス十度は、それより十度低いデンバーよりも寒いように感じた。ボストンではどうしてそんなに寒いと感じるのか、たいていの人が理由を知っていると思っている。訊いてみれば、十人のうち九人が、湿気とか湿度とかのせいだと言うだろう。たぶんそれは、私の祖母がよくしていた言い方で言う下作な話で、この種の気候に関する神話を正すために、少し回り道をしておかなければならない。

零度以下になると、乾燥した空気（湿度零パーセント）と飽和した空気（湿度百パーセント）とでは、含まれる水蒸気の量に大差はない。冷たい空気には湿気はほとんど入っていない。寒さの感じ方を決めるのは、体から熱が奪われる速さであり、これは周囲にある空気の密度による。だからこそ、氷点近くの水にほんの何分か浸かっただけで人は死ぬが、同じ温度でも空気中なら、裸でも何時間かは生きられるのだ。水中では、体温が急速に奪われる。水は密度が空気より高く、吸収する熱も多いからだ。空気はそれほど密度がなく、熱を吸収する量も少

ないので、体の冷え方は遅くなる。さて、デンバーは標高千数百メートルのところにあるのに対し、ボストンは海に面している。デンバーの空気の密度は、ボストンの空気の八十パーセントしかない。そのためにボストンでは寒く感じるのだ。デンバーでは熱はそれほど速くは奪われない。湿気とは無関係のことだ。

脆化

タイタニック号沈没事件は、硫黄による脆化の恐ろしい結果としていちばん有名で顕著な例である。この巨船が沈んだ当時から、氷山に衝突してできた百メートル近い裂け目が、「不沈」船の十六ある水密区画のうち六つにわたって切り裂いたものと考えられた。沈んだ船の位置が特定され、船体の鋼鉄の標本が回収されてはじめて、真相が明らかになった。

タイタニック号の船体に用いられた鋼鉄はすべて、あるいはそのほとんどが、スコットランドのグラスゴーにある平炉式の炉で作られたものである可能性が高い。この炉は内張が酸性になっていて、基本的な平炉式の炉とは違い、硫黄や燐の不純物を取り除くための反応が行なわれない。回収された船体材を分析すると、この種の用途の現代の鋼材と比べて、硫黄は二倍近く、燐は四倍近く含まれていることがわかり、推測と合致する。タイタニック号の鋼材は、硫黄の濃度が高いだけでなく、マンガン濃度が低く、マンガン対硫黄の比率は六・八対一だった。これに対し、現代の同様の鋼材では十五対一である。こうした元素組成が重なって、タイタニック号の船体は脆くなっていたが、不幸なことに、アイルランドのベルファストにあったハーランド・アンド・ウルフ造船所で、船体を追っていた労働者が気づくほどの脆さではなかった。

鋼材の硫黄量が変化しても、柔軟なものが突然脆くなるわけではない。実際には鋼鉄がすべて脆いものだ。問題は、どの温度でそうなるかである。純鉄は室温では柔軟だが、低温にするとガラスのように脆くなりだす。同様に、脆い鋼材も、加熱すると柔軟になる。たいていの金属について、柔軟なふるまいから脆いふるまいへと移行する、きわめてはっきりと領域を画す
ダクテイル・トウー・ブリトル

る温度がある。これは展性＝脆性（DTB）温度と呼ばれ、シャルピー衝撃試験と呼ばれるもので求められる。この試験では、与えられた形の標本を破壊するために必要なエネルギーが、いろいろな温度で測定される。破壊のためのエネルギーは時間とともに減少するが、DTB 転移のところでは、急激な降下がある。

タイタニック号の鋼材の DTB 温度は摂氏二十度付近とする推定がある。造船所では問題になるほどではないが、衝突当日のマイナス二度の海水となると別で、喫水線とその下の鋼材は、DTB 温度のずっと下になっていた。これでは、氷山に衝突したときの衝撃のエネルギーを柔軟で破れにくい金属を破る方に向けて、損傷を一つか二つの水密区画にとどめることができない。わずかな量のエネルギーでも、脆い鋼材に破断がもたらされる。衝撃のエネルギーは、船体の破壊が百メートルにわたって広がるまで消費されなかった。三時間もたたないうちに、船は沈没し、千五百人以上の人命が失われることになる

チャレンジャー号爆発の半年ほど前、ロジャー・ポイジョリーは、O リングが冷たくなると、膨張する速さがブースターの継ぎ目を埋めるのに必要な速さより遅くなることを気にしていた。そんなことになったら、漏れるガスが、液体水素と酸素の入った外部燃料タンクの中に入って燃えて、爆発を起こすことになりかねない。ポイジョリーの心配は、前回の飛行のときに使われたブースターから回収した O リングを調べて以来、一年の間に増していた。このときはシャトルは温暖な気温の中で打ち上げられていた——摂氏十二度ほどで、たいていは好適な温度である。ポイジョリーが驚いたことに、噴出する熱いガスで、一次 O リングが焦げていた。幸い、二次 O リングがもっていて、事故を防いでいたらしい。

当然のこととして、NASA は O リングの性能を危機的な問題と考えた。モートン＝サイオコル社には特別チームが創設され、問題を検討した。しかし調査の進み方が遅いのに不満をもったポイジョリーは、サイオコル社の副社長に覚書を提出し、問題が深刻であることを明言した。「正直申して抜き差しならない心配をしています。ただちに対策を取らなければ、打ち上

げ台もろとも打ち上げに失敗することになりかねません。もしそうなれば、最高度の惨事です——人命が失われます」

二十七日の午後、ケープの気温は下がり始めた。翌日の打ち上げのときの予想は、前例のないマイナス五度だった——ボイジョリーの心配の元になった**前の打ち上げ時より、十七度も低い**。そのような事態の経験はないので、打ち上げチームは業者に対して、何か心配はあるかと問い合わせた。モートン＝サイオコル社は、非公式だがきっぱりと「ある」と回答した。

マーシャル宇宙飛行センターにいる NASA のロケット専門家と、モートン＝サイオコル社の幹部との間の六時間に及ぶ電話会議が開かれた。

五時間にわたり、ボイジョリー、エベリングらは、打ち上げを延期すべきだと論じた。マーシャル側は納得せず、サイオコル社の技術陣は、健全な科学ではなく、直観でものを言っていると思っていた。五時間後、NASA の代表は、業者側の承認がなければ打ち上げは進めないことを指示したが、サイオコル社の勧告は根拠がないと思っていた。

科学や工学の世界では、判断を頭ではなく腹で下すという評判は、これ以上ないくらい悪い。この非難にサイオコル社の幹部は縛られた。四人の最高幹部は、技術陣の最高の助言を無視し、**「経営判断」としてサイオコル社の勧告を「打ち上げ続行」に変えた。**

私のひねくれた見方をしばらく復活させれば、これはまさに NASA が望んでいたことだと信じざるをえない。NASA は大統領に対して、雨も氷も夜間も打ち上げを控える理由にはならないことを示す必要があった。何と言っても、スターウォーズの部隊も管制も、どんな条件でも飛ばさなければならぬだろう。ソ連がこちらが晴れているときを待って攻撃を仕掛けるほど親切ではないかもしれないからだ。さらに、一月二十八日の夜には大統領の一般教書演説が行なわれる予定で、クリスタが地球を回っていれば、大統領の演説の中で触れてもらえるかもしれない——NASA の誰かがそう推測したにちがいない。こうして舞台は整った。

加熱したエンジンに冷水を通してはならない。本体に「ひびが入る」恐れがあるからだ。

(温められている場合は何百度もの温度差であっても**鋳鉄製エンジン本体に亀裂は入らない**。)

私はその後、いくつかの裁判で鑑定人として証言したが、このときの裁判ほどひどいと思ったことはない。原告の主張の前提は、製造側は決して壊れない製品を作る義務があるということだった。五十年も経たないうちに、われわれはものがいつ壊れるか予想できない時代から、すべてのものは**決して壊れないように作るべきだと期待される時代へと移った**のである。

この期待は理に合わない。

レキサンは特筆すべき素材だ。映画やテレビで見られることも多いが、登場人物が椅子などで叩いても窓が割れなければ、おそらくレキサンだろう。しかしレキサンは**アセトン**——マニキュア落とし——**で急速に脆化する**。主人公は、四十五口径ではなく、アセトンを入れた水鉄砲を持っていく方がいいことになる。まず水鉄砲を窓に向けて撃ち、それから椅子で叩くのだ。実は、アセトンで脆くなると、軽く叩いても、それまで割れなかった窓が割れてしまう

===Web===

Lexan(レキサン)とは？

<http://www.bobheathvisors.com/bob/lexan.html>

=====

ケブラーは丈夫で強いが、既知の高分子で最も丈夫というわけではない。その荣誉は**蜘蛛の糸**に行く。これについて考えてみよう。蜘蛛の糸一本の直径は、人間の髪の毛の直径のほんの何分の一かである。それなのに、大きな昆虫が飛んできて衝撃を吸収してしまい、切れな。蜘蛛の糸で直径十二ミリのロープを作れば、飛んでいるジャンボジェットでも止められると言

われたことがある。

蜘蛛の糸を作る元素の配列はわかっているが、蜘蛛がどうやってこの高分子の分子をその通りに並べるかというのは、まだ謎である。世界中のいろいろな大学にいる材料の専門家が、何年もの間、化学合成で蜘蛛の糸を作るという問題を研究しているが、今のところ、人造の高分子は、自然が生み出した本当に丈夫な素材の代替としてはまだ粗末なものだ。

===Web===

山形のベンチャーが世界初！ クモ糸量産化成功の快挙

http://www.huffingtonpost.jp/2013/05/28/spiber_n_3350116.html

Spiber (株)

<http://www.spiber.jp/rd/>

=====

装甲が進歩するたびに、その装甲を破るものが進歩する。指向性爆薬を使った弾丸は、硬かろうが強靱であろうが、ほとんど何でも貫通する。指向性爆薬は、高性能爆薬のエネルギーを用いて、融けた金属の高速のジェットを作る。練り歯磨きのチューブを押して歯磨きを飛ばすようなものだ。この場合、練り歯磨きの代わりに銅が用いられ、チューブを押す代わりに爆薬が用いられる。スラグとも呼ばれる徹甲弾は、銅で覆った円錐形のくぼみをもった高性能爆薬である。当たるとスラグは爆発し、銅を秒速九千メートルを超える速さの円錐形のジェットにする。これは音速のおよそ三十倍であり、高速の弾丸の十倍の速さである。得られるジェットは畏るべき武器となり、行く手にあるものは何でも浸蝕する。直径五センチ、長さ十センチほどの小さな指向性爆薬で、厚さが二十五～三十センチの鉄の装甲を貫通する。米軍の TOW 対戦中ミサイルに用いられる大型の指向性爆薬は、厚さ五十センチの鋼鉄を貫通する。銅のジェットの貫通力は浸蝕によるものなので、装甲がセラミックスか金属かでの違いはほとんどない。いずれの場合も装甲は破られる。

結局、プルトニウム 238 で得られるのは、熱、ヘリウム、ウランである。これに対してプルトニウム 239 には、興味深い特性がさらにある。非常に分裂しやすい物質なのだ。

...

困ったことが一つある。プルトニウムの同位体であればどれも「原子爆弾」を連想する人が多いのである。私がフロリダ州ココア・ビーチあるいはケープ・カナヴェラルの住民だったら、NASA が数十キロのプルトニウム 239 を積んだ衛星を打ち上げたりすれば、心配になるだろう。しかしプルトニウム 238 なら、何キロか先で何百トンもの爆発性のロケット燃料によって打ち上げられることがわかって、239 のときよりも心配は少ない。この違いを知らない人が多い。

プルトニウムの放射線に被曝する経路は三つある——接触、摂取、吸入である。そのうち探的な健康上の問題が生じる危険があるのは一つだけである。紙一枚、あるいはすでに細胞が死んでいる皮膚の最上層でも、アルファ粒子は食い止められるので、プルトニウムの塊や、プルトニウムを含む塵に接触しただけでは、心配することはない。プルトニウムを少量飲み込んでも、長期的に健康に関する危険が増す可能性は低い。食べたもののうち体内に残る原子は一万個に一個だけだからだ。ところがプルトニウムの細かい粒子を吸い込むと話は別だ。この粒子は肺にとどまり、長期滞在する。時間をかけて、出てくるアルファ粒子が周辺の細胞に損傷を与え、その細胞の中には癌化するものもある。プルトニウムの塵を吸い込むことがまずいのであり、プルトニウム 238 を原子力電池 (RTG) に用いることに関係する最大の、かつ確かに心配しなければならない健康上の危険はそれである。カッシニの RTG 製造は、この危険度を最小限にするよう配慮されていた。

カルノーは、
まだ開発されて間もない蒸気機関——熱機関の最初期形の一つ——の効率を調べていた。カルノーはエネルギーが保存されることは知っていた——これが熱力学の第一法則である。それで、気体が膨張し、エネルギーを放出して仕事をするとき、そのエネルギーはどこから来なければならない。この場合は、気体の熱エネルギーである。仕事を取り出すためには、気体は膨張しながら冷えなければならない。気体の最初の温度を T_H とし、それが膨張して温度 T_C まで下がるとしよう。たとえば、内燃機関で言えば、 T_H は、スパークで火が点いた直後のシリンダにある気体の温度であり、 T_C は、排気バルブのところでの排気ガスの温度である。**カルノーは、熱機関の到達できる最高の効率が、 $1 - T_C/T_H$ であることを示した。**

この式をもう少し詳しく見てみよう。内燃機関の例で言えば、点火したときの温度が排気温度の二倍なら、 T_C/T_H は $1/2$ である。したがって、エンジンの最大の効率は五十パーセントとなる。これは理想的な摩擦のない世界でのエンジンの効率である。実際には、摩擦など、完璧を妨げる問題点がいろいろあるので、効率は下がることになる。

今日のジェット機のタービンは、二十世紀半ばのものとはずいぶん違っている。タービンの回転する圧縮機の羽根（ブレード）は、ニッケルをクロム、アルミ、チタン、コバルト、硼（ホウ）素、炭素、モリ

ブデン、タンタル、ハフニウム、鉄、タングステンと混ぜた合金の一個の結晶でできている。この金属シチューのすべての成分が、特定の特性を与えている。すべてがまとまると、どうということのないニッケルが、ニッケル超合金（スーパーアロイ）——と呼ばれる——になる。超合金の羽根一枚

一枚が、「自然治癒する」セラミックの熱遮蔽コーティングを施される。中にある金属が酸化するのを防ぐ皮膚のようなものである。傷がついても、文字どおり新しい皮膚が生まれる。これらの高度技術で作られた合金は、千百度にも及ぶ温度でも連続して動作するし、短い間なら、これよりかなり高い温度でもいい。ニッケルの融点（一四百五十度）に近いのに、脆化による破壊の可能性はほとんどない。この温度になると、問題はクリープである。これは、物質が荷重によって変形する現象であり、ピザ生地を頭上で回していると伸びるのに似ている。しかしこの超合金は、寸法も安定していなければならないし、極度の温度の下で、何千時間も形を変えずに動作しなければならない。

===Web===

熱遮へいコーティング（Thermal Barrier Coating : TBC）

https://www.ihl.co.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/b457509c506b91e3c12f83988c9173eb.pdf

=====

高校の化学の

授業のときだった。単純な回折格子を使って光の特性を調べていたときのことだ。回折格子というのは、要するに、等間隔に傷をつけたガラスである。光がこの格子を通過するとき、実に見事なことか起きる。白色光か、光源によって異なるいろいろな色相に分かれるのだ。ごく普通に使われる蛍光灯から出てくる白色光を回折格子越しに見ると、青、緑、赤といった鮮やかな色の線に分かれる——虹とは違う。虹は色が他の色と重なっているが、こちらは黒いところで区切られた、くっきりとした色の帯になる。回折格子をネオン・サインに向けると、やはり強列に鮮やかな色の帯が見える。蛍光灯の場合ともまた違う。水銀蒸気による街灯の光なら、さらに違った色の帯ができる。しかし白熱灯——タングステンのフィラメントが入った電球——に向けると、連続した、虹のようなスペクトルが見られる。赤は黄色に混じり、黄色は緑混じり、緑は青に混じるなどである。

授業に出ていた生徒の一人が、実に深遠な質問をした。「なぜ白熱灯は、分離したスペクトルではなくて連続したスペクトルを出しているんですか」。化学のマリニクス先生は、その質

について少し考えてから、わからないと告白した。

...

基本的には、光は電子がエネルギーを失うときに出てくる。これまた第一法則の帰結だ。電子がエネルギーを変えるには、そのエネルギーを別のものに変えるしかない。この場合なら光である。これで光を作るための方法がわかりやすくなる。分子中を動き回っている電子に、別の電子をぶつけてエネルギーを与えるのである。この「励起した」分子の電子が今度はそのエネルギーを失うとき、光が出てくる。しかし、量子力学の法則は、電子にエネルギーを連続的に放出することを認めず、量子の形をとらせる。励起した電子を、階段のいちばん上まで上げられていると考えよう。階段を下りればエネルギーを失い、そのとき光を出す。出てくる光の色は、段差によって決まる。**段差が大きいところを下りれば青い光が出てくる。段差が小さいところを下りれば赤い光が出てくる。**段差がものすごくあるところを下りれば、目には見えないX線のような光が出てくるし、段差があまりないところを下りれば、やはり目に見えないエネルギーの低い光が出てくることになる。赤外線やマイクロ波といったものである。

励起した電子は、一度に一段ずつ下りなければならないことはない。一投でも二段でも三段でも、もっと多くてもいいが、それによって出てくる光も違う。回折格子で観察するスペクトルはこれに由来する。分子が異なれば、階段も違うのだ。ただ、一般的に言えば、この階段の段差は、電子がある分子の大きさにおおよそ反比例するという関係がある。つまり、**大きな分子は段差が小さく、小さな分子は段差が大きい**ということだ。

そこに答えがある。タングステン・フィラメントの電球の場合、励起した電子はフィラメントのどこにでもありうる。フィラメントは長さ二、三センチもある巨大な分子なのだ。蛍光灯では、励起した電子はその千万分の一ほどの大きさの分子に含まれている。白熱電球での段差は、授業で観察した他の光源と比べるとごくわずかだった。実際問題として、タングステン・フィラメントのエネルギー準位は、階段というよりは、斜面のようなものである。この斜面を跳ね下りる電子は、どんなエネルギー幅の遷移でも行なえるので、連続して見えるスペクトルを出すのである。

加えれば普通の材料にとてつもない靱性

が与えられる「魔法の粉」を発見することを期待されなくなったのである。かけられる期待と
言えば、**破壊を支配する構造／特性の関係を発見すること**だけになった。それこそ、私がその後**十年をかけることになる課題**だった。

位相幾何学は、対象が引き延ばされたり押し縮められたりしても変わらないつながり方の性質を記述する数学の一部門である（図形を切ったりつなげたりすると、対象にあった位相幾何学的特徴が別のものになる）。たとえば、取手のついたティーカップとドーナツとは、位相幾何学的には同じである。粘土でドーナツ形を作り、穴を取手の穴にすれば、ドーナツの身の部分を変形して、粘土を切らずにティーカップの形にすることができる。ところが、球状の粘土は、いくら形を変えても、どこかに穴をあけ、それまでつながっていたところを切らないことには、ドーナツ形にもティーカップにもならない。