



Title	ゴム物質による高分子概念の形成に関する教授プランの基本構想
Author(s)	八島, 弘典
Citation	教授学の探究, 10, 25-33
Issue Date	1992-03-17
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13573
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_p25-33.pdf



ゴム物質による高分子概念の形成に関する 教授プランの基本構想

八 島 弘 典

(北海道大学大学院教育学研究科修士課程)

0. はじめに

科学・技術とそれに伴う産業の発展により、環境破壊や原子力発電にみられるエネルギー問題など、人類はその生存にかかわる重大な問題に直面している。これらの問題は決して一部の専門家や政府・企業に任せられるものではなく、市民ひとりひとりが考え行動しなければ解決できないものである。したがって、市民ひとりひとりがこうした問題をどのように認識し、どうかかわっていくかが、今、問われているのである。そのためには科学・技術・社会と人間とのかかわりを歴史的に明らかにし、人間社会を真に豊かにさせる「科学的認識」の形成が必要である。本稿では、このような「科学的認識」を形成する教授プランの基本構想を、高分子概念形成とのかかわりの中で検討する。

1. 科学教育の新たな課題

1-1 科学教育の歩み

1950年代における数学教育協議会の水道方式および60年代における仮説実験授業研究会の仮説実験授業は「すべての子どもに、数学や科学の基本的な概念や法則をやさしく教える」⁽¹⁾ 具体的な教授プランを作成し、大きな成果を上げた。さらに、これらの成果を受けて60年代末から北海道大学教育方法学研究グループでは高等学校の物理教育において、自然の歴史性・階層性にもとづく「相互作用の質的發展と階層間の相互移行」⁽²⁾ の見地から教育内容を再構成し、具体的な教授プランを提示し、授業実践においても大きな成果を上げてきている。しかし、これらのすぐれた試みも90年代に入った今も科学教育の大きな潮流にはなっておらず、生徒の理科離れはさらに進行しているように思われる。

これらの試みは、教授プランの背後に理念として人類における科学の役割を歴史的・社会的に位置づけ、科学を学ぶ意義を明確にしているにもかかわらず、それを教授プランの前面には打ち出してはいない。今、「現代科学がおかれている歴史的・社会的状況や生徒の状況の変化」⁽¹⁾ を考えるとき、科学教育はさらに人間との深いかかわりにおいて積極的に自然を認識するという新たな方向への発展が求められている。

1-2 環境科学教育の試み

丸山(1991)⁽³⁾ は「自然に対する人間の認識には、対象としての自然の認識の他に、人間との関係における自然認識がある」として、環境科学を「人間を抜き去った自然を対象化するのではなく、人間を含む自然すなわち人間生活圏を対象とするため、自然における人間の自己認識にかんする科学」と規定し、新しい科学の方向を提示した。そしてそれに基づく具体的な教授プ

ランを作成して環境科学教育として実践し、その成果を報告している。

授業書「環境科学」は「自然を人間との関係において科学的に認識できる」ように構成されており、科学教育一般に重要な示唆を与えている。

2. 新しい科学教育の試み——ゴム物質による高分子概念の形成をとおして——

新しい科学教育のあり方として、環境科学教育は従来の自然科学を人間という高い立場から再構成するという新しい方向を提示した。このような基本的視点、つまり自然科学を人間とのかかわりの中で捉えるということは、科学的概念形成の歴史をその時代背景の中で明らかにすることにより、現代における科学・技術・社会と人間とのかかわりを科学的に認識できるようにすることである。この科学的認識は「科学と技術の発展がどのような社会的条件と結合されたとき、万人に人間らしい生活と労働を保障する」⁽⁴⁾ ことができるかという問題に帰結する。一方、こうした試みは「科学の意味は、その形成の歴史を通してのみ理解することができる」⁽⁵⁾ という点で、生徒に自然科学を学ぶ意義を提示でき、生徒の学習意欲を引き出すことが期待される。これらの視点から、高分子をその概念形成の歴史と時代背景の中で捉えてみる。

ゴムの歴史は従来の「科学」という枠組みで捉えるとき、それは高分子概念形成の歴史であり、また「社会」という枠組みで捉えるとき、それはイギリス帝国主義の発展に寄与した生産材の歴史といえる。そして「科学」と「社会」をつなぐものが「技術」であり、ゴムの場合は「加硫技術」がその役割を果たしている。ゴムすなわち高分子物質を人間という高い立場で捉えるということは、高分子物質を「科学」と「社会」という別個の視点からではなく、それらをトータルに捉える認識を形成することである⁽⁶⁾。今、トータルに捉える認識が科学的認識になり

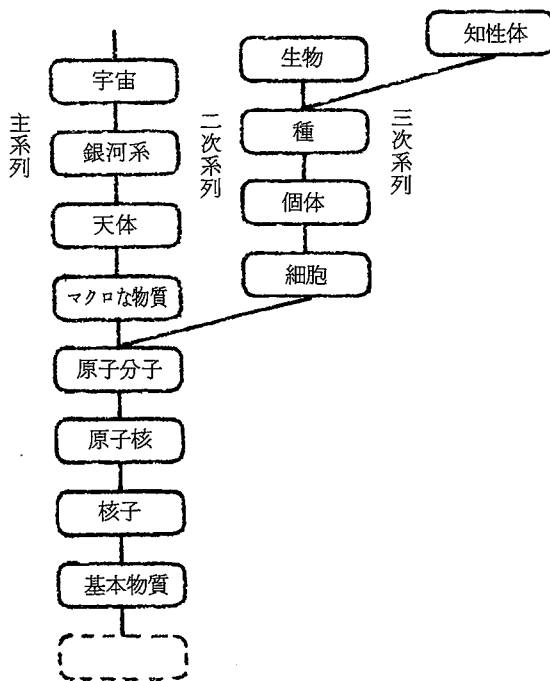


図 I 自然の階層構造(田中一「未来への仮説」培風館1985, p 103)

得るとすると、こうした認識は「社会的に無責任な科学から社会的責任をとる科学」⁽⁷⁾への転換とみることができる。

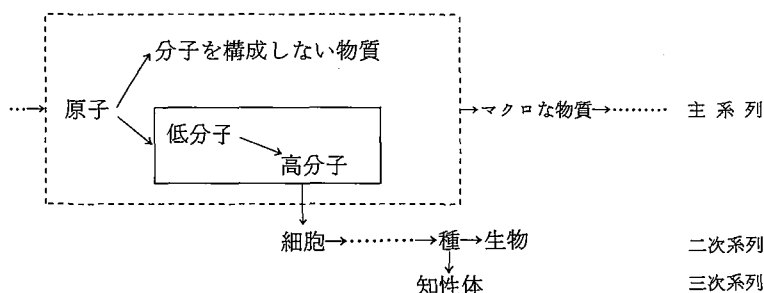
高分子物質のトータルな認識形成が「科学的認識」になり得るとい根拠は自然の歴史性・階層性にもとめられる。自然の階層論は無機的自然である主系列と有機的自然として生命をもつ存在である二次系列そして人間を三次系列とし、自然が三つの系列の階層構造(図I)をもつとしている。

自然の階層論によれば二次系列の一種ともいえるヒトは「社会的運動形態をともなって独特の進化をとげ、やがて質的・量的に一層高度な活動性」⁽⁸⁾をもつことになり、三次系列を生成した。人間はその活動性を主系列や二次系列に向けることにより、さらに大きな活動性を獲得し、それをくり返すことにより、その活動性を巨大なものとしてきた。つまり三次系列である人間の「二次系列への働きかけである農耕・牧畜」⁽⁹⁾や「主系列への働きかけである工業」⁽⁹⁾によって自然を加工し、人間中心につくり変えてきたのである。したがって、人間の活動性が極めて巨大となった今日、自然認識には人間の活動性は不可欠なものであり、当然、自然認識は人間の活動性つまり人間の主系列や二次系列への働きかけを包含するものでなければならない。

3. 授業書「ゴム物質——高分子概念の形成をめざして——」の基本構想

3-1 人間と自然とのかかわりにおける高分子の位置づけ

高分子は自然の階層論において主系列と二次系列への橋渡しの役割を担っており、二次系列である生命体を構成する基本物質でもある(図II)。この生命体を構成していた高分子の分解生成物である化石燃料を原料に、人間は自然に存在しえない新たな高分子物質を合成した。合成高分子は人間の自然への働きかけによりつくりだされたものであり、人間と自然とのかかわりを考えるうえでの象徴的な物質といえる。



図II 自然の階層論における高分子の位置づけ

高分子は生命体の構造材料という特性の他に、酵素(タンパク質)やDNAにみられるように極めて高い機能性物質という特性をもち、生命体を内部から支えている。こうした高機能性物質は、当然、人間の働きかけの対象となり、新素材としての高分子は将来さらにその役割を大きくすることが予想される。このように高分子は未来においても人間と自然との深いかかわりをもつ典型的物質と考えられる。

3-2 ゴムの高分子特性

分子量の大きさが一般に 10^4 のオーダーに達するとき、それは分子量の単なる増大という連続した量のものから、異質な物性をもつ物質へと質的に転移する。この物質こそが高分子物質である。分子量が極めて大きくなることにより、鎖状高分子（以下、高分子と略する）は分子どうしの「からみあい」という物理的特性や「ミクロブラウン運動」という熱力学的特性をもつことになる。この「からみあい」と「ミクロブラウン運動」の両方の特質を担っている物質がゴムである。プラスチック・繊維などは常温で「ミクロブラウン運動」が凍結されており、これらと比較するとゴムは高分子の特性をより豊かに発現しているといえる。

高分子の本質的特性は「自由度の巨大さ」である。この視点からみると、ゴムを構成している高分子は「からみあい」と「ミクロブラウン運動」という現象によって「変形において自由度の巨大さ」を示している。タンパク質などはさらに「構造単位の並び方において自由度の巨大さ」を合わせもっており、より高次な高分子特性をそなえているといえる。

3-3 授業書の基本的構成と内容

高等学校の教育内容において、まずゴムを中心に高分子物質を展開する根拠は次の三点から示される。

- (1)高分子概念の導入として、高分子の特性を豊かにそなえているゴムが適当であること。
- (2)人間と自然とのかかわりにおいてゴムには長い歴史があること。
- (3)おもりをつけたゴムひもを加熱すると収縮する、というゴム弾性の興味深い現象を探求することが、歴史的にも高分子概念形成の流れのひとつであったこと。

したがって、授業書はゴムの科学・技術・社会の歴史をとおして高分子概念を形成できるように構成する⁽⁹⁾。また、科学・技術・社会は歴史という時間スケールでは相互作用をもちながらも、それぞれ独自に発展してきたといえる。このような観点から授業書は次の三つの基本骨格をもつものとする。

- 1)ゴムの科学史
- 2)科学と社会をつなぐゴム加硫技術
- 3)ゴムの社会史

3-3-1 ゴムの科学史

ゴム弾性の本質が解明され高分子概念が成立するには、近代自然科学の諸成果・諸思想が大きくかかわっていることを示し、科学が歴史的なものであることを理解させる。さらにゴムをプラスチック・繊維やタンパク質と比較することにより、ゴムの高分子特性を明らかにし、高分子の認識において本質的な点は「自由度の巨大さ」であることを理解させる。またゴムの科学史をとおして、科学は歴史的には技術と相互作用をもちながらも独自に発展してきたことも理解させる。

(1)ゴムの再発見

大航海時代の1493年、西インド諸島においてコロンブスがゴム弾性を目撃した最初の西欧人であることを紹介する。

(2)ゴムに関する最初の科学実験

1806年ジョン・ゴフはゴム弾性現象の特質を初めて明らかにした。この実験のうち「ゴムひもにおもりを下げ、加熱すると収縮しておもりをもち上げ、冷やすと長くなっておもりは下がる」を紹介し、ゴム弾性の不思議な現象を観察させ、その解明が授業書の目的のひとつである

ことを提示する。

(3)高分子概念の成立

19世紀中期には熱力学が体系化され、また加硫法の発見により完全な弾性物質といえる加硫ゴムをもちいて実験することが可能になった。こうした時代背景の中でゴム弾性は熱力学的にはエントロピー弾性であることが解明された。

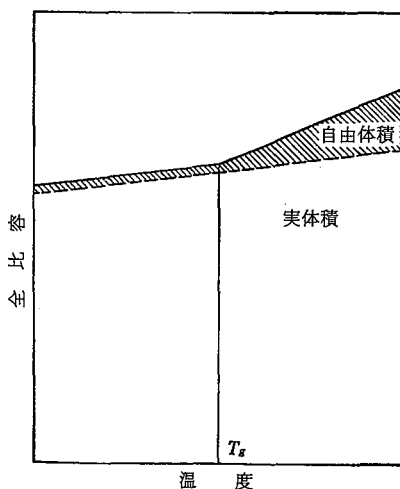
さらに19世紀中期以降の気体分子運動論の進展により、気体の分子運動と温度・圧力の関係が明らかになった。一方、19世紀半ばからのいわゆる「エネルギー一元論対原子論の論争」は、20世紀初めのブラウン運動の実験的証明により分子の存在が明らかになることで終止符を打ち、化学的原子・分子の概念が確立され、有機化学は急速に発展する。

気体の分子運動論・有機化学の進展により、ゴム弾性は「構成粒子の運動」すなわち「分子の運動」によることが明らかになる。ここでゴムなどを構成している分子の大きさが問題になり「低分子説対高分子説の論争」へと発展する。そして1930年シュタウディンガーが「粘度則」を提出し、高分子説の定量化をはかり、31年カローザスは最初の本格的合成ゴムであるポリクロロブレン（ネオブレン）を合成し、高分子の存在を決定的なものとした⁽¹⁰⁾こうした高分子概念形成を諸科学の形成史をとおして理解させ、ゴム弾性の本質である高分子の「マイクロブラウン運動」の実体的イメージを明らかにし、エントロピー概念の導入をはかる。

(4)ゴム・プラスチック・繊維

一般に高分子はガラス転移温度以上ではゴム状になり、それ以下ではプラスチック状になる。ガラス転移温度はマイクロブラウン運動のはじまる温度とみなせる。分子間凝集力の大きいプラスチックを延伸すると、分子が引き伸ばされて配列し繊維となる。

自由体積の概念によれば自由体積分率は、ゴム>プラスチック>繊維の順になり、高分子物質内部にマイクロブラウン運動が可能な空間が存在する物質がゴムともいえる。このような視点にたち、ゴムの高分子特性を明らかにし、「からみあい」が高分子の共通な特性であることも理解させる。

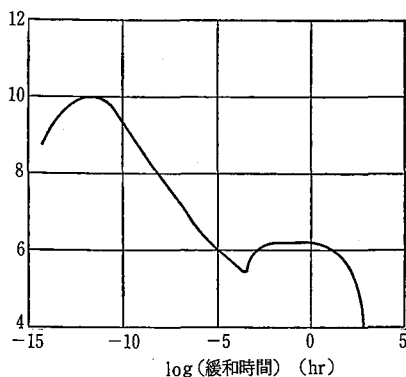


図Ⅲ 全比容、自由体積および実体積の熱膨張にたいする模式図
(岡小天「レオロジー入門」工業調査会1970, p168)

(5)粘弾性とエネルギーの散逸

プラスチックに応力を加えると自由体積が増加してミクロブラウン運動がはじまり、ゴム弾性を示すようになる。さらに応力を加え続けるとマクロブラウン運動がはじまり「からみあい」がほぐれ、いわゆる粘性流動を示す。このように高分子は一般にゴム弾性と粘性流動をあわせもつ粘弾性体である。

粘弾性体はエネルギー貯蓄とエネルギー散逸とが同時に生じることから、ひずみを一定にして応力をかけると、時間と共に応力が減少していく応力緩和の現象(図IV)がみられる。応力緩和は巨視的にみれば力学エネルギーの熱エネルギーへの変換であり、微視的にみれば分子の運動エネルギーへの変換によるエネルギーの散逸過程である。こうした応力緩和と減少を「外部からの攪乱によって生じた非平衡状態から新しい平衡状態へ系が流れてゆくエネルギー散逸の不可逆過程」という緩和現象一般の広い背景の中で捉え、⁽¹¹⁾分子運動によるエネルギーの散逸を理解させ、エントロピー概念について理解を深めさせる。



図IV ポリイソプレンの緩和スペクトル(25°C)
(岡小天「レオロジー入門」工業調査会1970, p209)

(6)現代科学からみたゴム

イソプレンの異性体を示し、天然ゴムが1,4シス型のポリイソプレンを主体にした物質であることを明らかにする。またツィグラー・ナッタ触媒の発見により立体規則性重合が可能になったことを示し、合成天然ゴム⁽¹²⁾やブロック共重合体などを紹介する。

(7)ゴムとタンパク質

タンパク質がより高次な高分子であることを示し、高分子物質の中でのゴムの位置づけを明確にする。また高機能性高分子であるタンパク質が、今後の科学・技術の発展と環境問題などのかかわりにおいて極めて重要な役割を担っていることにも触れる。

3-3-2 科学と社会をつなぐゴム加硫技術

ゴムは加硫法の発見により、たんなる珍品から実用ゴムという生産材としての地位を獲得した。加硫法の発見はその時代の経済的・生産的諸状況の要請により、過去の歴史的蓄積の中から生れたものである。このような加硫技術の歴史をとおして、技術一般の特性を理解させる。

(1)ゴムの初期における利用と加硫法の発見

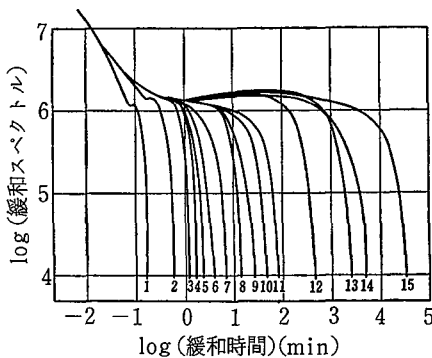
コロンブスがゴムを再発見して200年以上たった1736年、ラ・コンダミース(フランス)は南米の先住民による水筒・ゴム靴・防水布へのゴムの利用を本国のアカデミーに報告した。そして19世紀初めには産業革命という背景をもつイギリスを中心に、防水雨衣やゴムバンド・

ガーターなどに利用されるが、夏はべとつき冬は硬化する生ゴムの欠点はその利用を大きく制限した。このような状況の中で、1839年グッドイヤー（合衆国）はこれらの欠点を克服する方法を発見した。それはゴムに硫黄と鉛白（炭酸水酸化鉛）⁽¹³⁾を混合し、加熱するという方法であった。こうした加硫法発見の時代背景を明らかにしながら、この発見のもつ重要な意義を理解させる。

(2)加硫技術

加硫法（1839年）、充填剤としてのカーボンブラック（1904年）の発見、加硫促進剤（1905年）や老化防止剤の発見によって、近代のゴム工業は大きく発展してきたといえる。これらの技術は用途による硬さ・強さの要求を満たしながら、最大緩和時間を大きくするための技術と規定でき、これらを総称して加硫技術と呼ぶことにする。

緩和時間は高分子のマクロブラウン運動により、からみあいほぐれる平均時間の意味をもつと考えられる。図IVの箱形の右端は最大緩和時間といわれ、図Vにみられるように分子量の3.4乗に比例して変化する。加硫による分子間の橋架けがおこなわれると、このように最大緩和時間が大きくなる。



ポリスチレン 115°C
 図中の番号1～15にしたがって分子量が大きくなる。この最大緩和時間は分子量の3.4乗に比例する。

図V 緩和スペクトル箱形部分の分子量依存性
 (岡小天「レオロジー入門」工業調査会1970, p 212)

高分子の特性は「ミクロブラウン運動」と「からみあい」であり、これらがゴム弾性という現象を規定している。したがって、最大緩和時間を大きくするという加硫技術は高分子のもつこれらの特性から規定され、その枠を超えられないという限界があることを理解させる。

(3)加硫技術の発展とゴム需要

加硫法の発見は鉄道車両のパンパー類などの需要を生み、1850年代のゴムブームを到来させた。そして80年代の空気入りゴムタイヤの発明、19世紀末からの自動車の普及という背景の中で、1904年カーボンブラックの発見、1905年加硫促進剤の発見があり、ゴム需要は激増してゴム工業は飛躍的に発展する。こうして加硫技術はその時代の経済的・生産的諸状況の要請により発展してきたことを明らかにし、ゴムの生産材としての地位を大きいものにしてきたことを示す。

3-3-3 ゴムの社会史

ゴムの科学・技術の評価は最終的にゴムの社会史の中で位置づけられる。ゴムの社会史をおして、産業革命以降の社会の急激な変化の中で科学・技術が果たしてきた役割を明らかにし、科学・技術がどのような社会的条件と結びついたとき、ひとりひとりの人間が豊かに生活できる社会へと発展できるかを考えさせる。

(1) ゴムの再発見とその時代背景

ルネッサンスによる科学の芽生えが大航海時代へとつながり、コロンブスのゴム再発見となったことを紹介する。

(2) 産業革命とゴム工業のはじまり

イギリスにおいてはじめてゴムに関する最初の科学実験がおこなわれ、本格的ゴム工業がはじまったことを産業革命という背景の中で明らかにする。その中で産業革命がたんなる技術革新であるばかりでなく、産業資本家と大量の労働者を生み出し、資本主義の発展を促したことを示す。さらに技術革新と大工業の発達、科学の発達と結びついていることを明らかにする。

(3) 野生ゴムの採取と奴隷制

1850年代のゴム・ブームによる需要の激増は、南米の先住民を密林における過酷な労働に引き込み、実質的な奴隷としてゴムの採取にあたらせた。広大な密林に散在する野生ゴムの樹にキズをつけ、ラテックス（樹液）を集め凝固処理するという労働において、生ゴムの品質管理は不可能であった。したがって、需要の激増が野生ゴムの栽培植物化の方向に向かわせるのは、資本主義の論理から当然の流れであった。当時、生ゴムはブラジルの独占下にあり、資本主義の原料確保のために非人道的労働がおこなわれてきたことを明らかにする。

(4) 大英帝国のゴム独占

資本主義の成長は資本の集中・独占を生み、やがて国家をも支配し、市場と原料の獲得のため海外に進出する帝国主義の時代となる。このような中で、イギリス帝国主義はキニーネをつくりだすキナの樹を南米からもちだすことに成功する。このキニーネこそが植民地経営の要員をマラリアから守る大切な特効薬であった。さらにキナの樹に続き、ゴム原料の安定確保と独占のため、1876年ゴムの樹をブラジルからもちだし栽培植物化を成功させた。その結果、イギリスは第二次大戦までゴム独占を続けることになる。キナの樹・ゴムの樹はイギリス帝国主義にとってまさに「緑の武器」⁽¹⁴⁾であり、その栽培植物化には王立植物園が中心的役割を果たしており、それはいわゆる栽培植物学の帝国主義への貢献であった。こうしたイギリス帝国主義のゴム独占の歴史をとおして帝国主義の一側面を明らかにし、そのとき科学・技術がどのような役割を果たしたのかを明らかにする。

(5) 第二次大戦と合成ゴム

第二次世界大戦において日本軍はイギリスの天然ゴム供給地であるマレー半島を占領した。その結果、合衆国は国策として合成ゴムの生産をはじめることになる。合衆国はいわば戦争を利用し、合成ゴム工業を巨大産業にし、イギリスの天然ゴム独占に終止符を打ったといえる。ここでは戦略物質としてのゴムを紹介し、天然ゴムから合成ゴムへの主役の交代は、大英帝国から合衆国へのゴム独占の転換と照合していることを示し、現在もその延長線上にあることを気づかせる。

(6) 天然ゴムと合成ゴム

天然ゴムは合成ゴムより振動による発熱が少ないという特性をもっており、依然として大きな需要を満たしているが、それでも合成ゴムの生産量に比べ半分程である。ここでは天然ゴムと合成ゴムの生産に必要なエネルギー量などを比較して、資源枯渇や環境汚染の問題などを考えさせ、「ソフトマテリアルパス」⁽¹⁵⁾についての基礎とする。

4. 今後の課題

今後、このような基本構想をもとに具体的授業プランである授業書を作成し、その授業実践の分析・評価をととして授業書を検証する。

註

- (1) 高村泰雄『物理学教授法の研究』, 北海道大学図書刊行会, 1987, まえがき
- (2) 高村泰雄, 前掲書, p. 32
- (3) 丸山博「自然の階層論に基づく「環境科学」教育の体系化について」環境教育, 1: pp. 4-11, 1991。具体的な授業書は丸山博「授業書「環境科学」——「環境科学」教育体系化の試み——」教授学の探究, 9: pp. 3-143, 1991 を参照。
- (4) 田中実『科学と歴史と人間』, 国土社, 1971, pp. 220-221
- (5) 田中実, 前掲書, まえがき
- (6) 中川鶴太郎『ゴム物語』, 大月書店, 1984, の構想に多くを負っている。
- (7) J. D. バナール, 鎮目恭夫訳『歴史における科学1』, みすず書房, 1967, p. 4
- (8) 高村泰雄『物理学教授法の研究』, 北海道大学図書刊行会, 1987, p. 32
- (9) 授業書の基本的内容の多くは中川鶴太郎『ゴム物語』, 大月書店, 1984 から素材をえている。
- (10) ここでいう高分子説の確立は中川鶴太郎『私の科学方法序説』, 蒼樹書房, 1978, pp. 174-175 を参考にしている。また, 中川氏は『ゴム物語』, 前掲書, p. 155 で「粘度側」は「厳密な意味では正しくないが, 高分子説樹立の過程で果たした役割は重要である」とその役割を強調している。「粘度側」についてはP. J. フローリ, 岡小天・金丸競訳『高分子化学上』, 丸善, 1955, p. 22, p. 291 を参照
- (11) 緩和現象の詳細については例えば東健一・長倉三郎『緩和現象の化学』, 岩波書店, 1973 を参照。
- (12) イソプレンの立体規則性重合により合成された, 天然ゴムと同じ分子構造をもつ1・4 シス型のポリイソプレンは「合成天然ゴム」と呼ばれている。
- (13) グッドイヤーは鉛白を使用した, これが無機物での加硫促進剤のはじまりである。無機促進剤は促進作用は強いが加硫が平坦にすすまない, 現在では1905年に発見された有機促進剤が一般に使用されている。

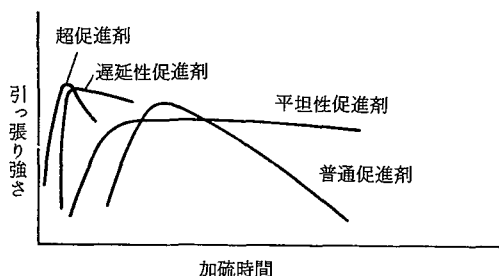


図 加硫促進剤の特性
(山田準吉「ゴム」大日本図書1968, p63)

- (14) ルシール・H・ブロックウェイ, 小出五郎訳『グリーンウェポン—植物資源による世界制覇』社会思想社, 1983
- (15) 田中一『未来への仮説』, 培風館, 1985, pp. 129-157