

## 科学実験教室実施報告「光から色を取り出そう」

久松 洋二\*

### A working report of science class “The observation of spectrum” Yoji HISAMATSU\*

The science class that aimed at a observation of visible light was reported. The class was constituted the experiments make use of colored light. We suggested the one of styles for the science classes to appreciate the property of light. Since the experiments contain the dispersion, Rayleigh scattering and the chromatic polarization of visible light, we substituted the chromatic light for the monochromatic light.

#### I はじめに

入射白色光からスペクトル光と透過色光を取りだすことをテーマに科学実験教室を行った。一般的に光の性質を調べる実験では、その本質を抽出するために、単色光を主に扱う。本講座では、受講者の対象年齢から、光の性質を第一原理からまとめあげること、抽象的概念で統一的に見直す必要もないので、受講者に親しみやすいように、実験の結果に色が出ることを条件としてさまざまな光の性質を取り扱った。内容的には光の性質でも、物理量や物理的性質を使わずに、実験方法とその結果のセットにこだわり、包括的な説明をさせた。その理由は、第1に説明に必要な抽象概念やその名称自身に受講者が親しんでいないこと、第2にそのため実験結果から見える直感的な描像と抽象概念とのギャップを埋めるための説明が長くなること、第3に説明によって色を取り出した新鮮な感動が消されることを避けるためである。光をあてる、光に透かす、光を通すと色が見える、生まれる。そこには何か理科的なメカニズムが隠れているらしい。受講者にこのような意識を芽生えさせることが、本講座の目的である。

「色が見えるとはどういうことか。」この疑問は、力学と同じくらい歴史的な理科の疑問にもかかわらず、受講者にとって答えを得る機会がほとんどなく、ともすれば美術の範疇に入れられがちである。しかし、本来色を見ること自身に深い物理的考察を必要とする。本講座ではそのメカニズムについてまで説明する余裕はないが、受講者に理科の実験の1つという意識を持たすことはできると考え、実験教室を構成した。そのため、光の性質は全く前面に出さず、白色光から色のある光が出てくることをテーマに実験を行った。

実験に際して、導入として光と色について先人達はどうとらえたか、歴史的な話を行い、絵の具と光との混色の違いを実験した。そこで光の混色と白色との関係を示唆した。講座の主な実験内容は、第1にプリズムによる分散、第2に回折格子による分光、第3に自然の色（散乱と屈折）、第4に複屈折と偏光である。

本講座は平成10年12月6日（日）に実施された。実施時間は2時間、受講者は小学4年生から中学生が対象で、参加者は19名。付録1にアンケートの集計結果を、付録2に講座に用いた説明用のイラストの一部を記す。



写真1 講座実施風景

#### II 実験内容

##### 1 導入

講座のはじめに受講者の色に関する知識と意識を調べるために、絵の具と光の混色の違いを質問形式で実験した。絵の具の実験では、教室のホワイトボードに薄模造紙を張り付けて、ポスターカラーを直接着色することで実験した。まず青、赤、黄の三色を着色し、その後それぞれ2色、または3色混合することで何色になるか答えさせ、実際にその場で混色し、結果を模造紙に着色した。混色による色みの傾向は、さすがに学校の授業の経験からほぼ全員が正解した。

\*愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科  
Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

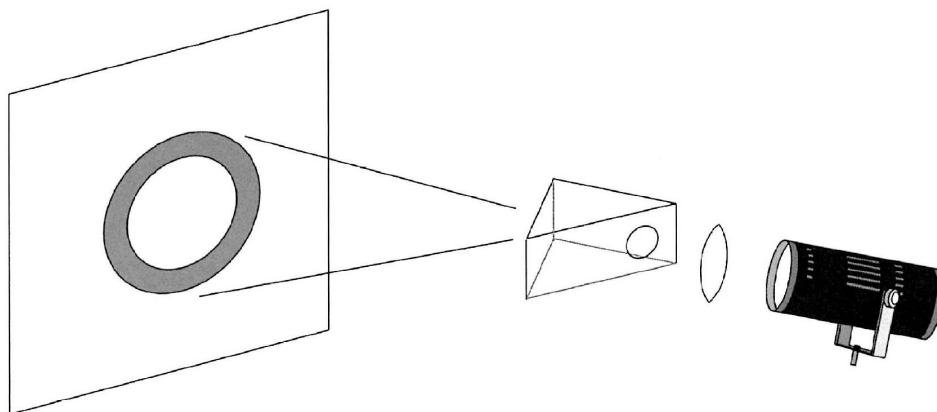


図2 プリズムによる分散の実験。凸レンズによる分散光をサラダ油を入れた水プリズムでさらに強調した。

次に、光の混色を行った。今回は白色光スポットライトに赤、緑、青（以下R、G、B）のセロファン紙を張り付けることで単色光を再現した。使用したスポットライトは75Wのハロゲンライト、セロファン紙は市販されている通常のものを使用した。もっとも使用したセロファン紙の色特性から完全な単色光は得られなかったが、逆にそのことが後の分光の実験と繋がることからあえて使用した。少々色がずれていてもうまい混色によって白を印象づけることはできる。

光の混色について、受講者の中にはRGBの3色混合によって白が作りだされることを知る者はいたが、2色混合について知っている者はいなかった。本講座では混色の表現やその関係<sup>(1)</sup>について説明しなかったが、絵の具では多重に混色することで黒に近づくことに対して、光では白に近づくこと、そしてそもそも色が見えること自体、光の存在が不可欠であることに触れた。

また、RGB混色が身近な技術であることを理解してもらうために、人の顔写真をコンピューターでRGB分解し、3色それぞれのOHPシートを作成した。それを白色光の前に置き、レンズで拡大させてスクリーンに映し出し、3色重なった時に肌色が再現されることを確認した。（図1）その後、白画面にしたテレビのブラウン管

に霧吹きで水をかけ、3色のドットを観察した。白色の光は色のついた光が含まれていることを印象づけ、分散の実験に移行した。

### 2 連続光と分散

自然光（太陽光）の白には、どのような色の光が含まれているか？このことが次のステップである。ふだん私達が意識しない明るい光こそが、いつも見ている様々な色の生みの親であるからだ。ただ、講座では、教室の窓の方角が悪く太陽光を直接実験に利用できないこと、また天候によって講座の内容が左右されることを考慮して、太陽光スペクトルによく似たスペクトルを持つスポットライト<sup>(2)</sup>を使用した。

実験は白色光をプリズムにとおし、プリズムから5メートルほど離れたところに設置したスクリーンに投影する。プリズムには15センチメートル角程度の水プリズム（教材）にサラダ油を入れて使用した。サラダ油だとスペクトル全体が黄色を帯び、赤色の成分が強くなるが、分光した虹色の色みは水よりはっきりするので、あえて使用した。また分散を十分大きくとりたいために、光源の前に凸レンズを取り付け、その分散光をプリズムでさらに強調した。（図2）

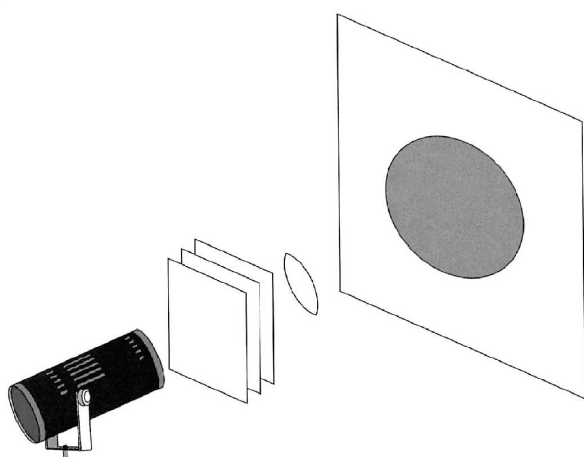


図1 OHPシートによるRGB混色の実験。凸レンズを使用して拡大した。

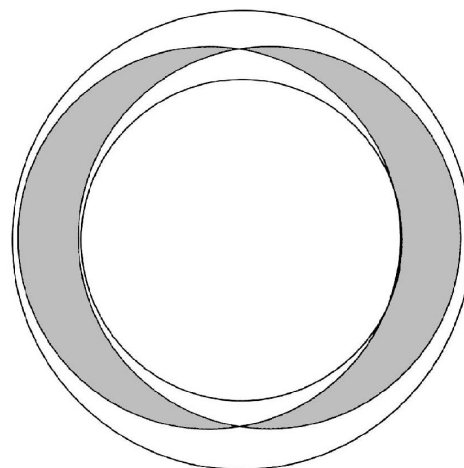


図3 プリズムによる分散の実験で得られた虹色の円環。外径は約1000mm。グレーの部分が虹色を呈した部分。左右同じ順序で色が並ぶ。

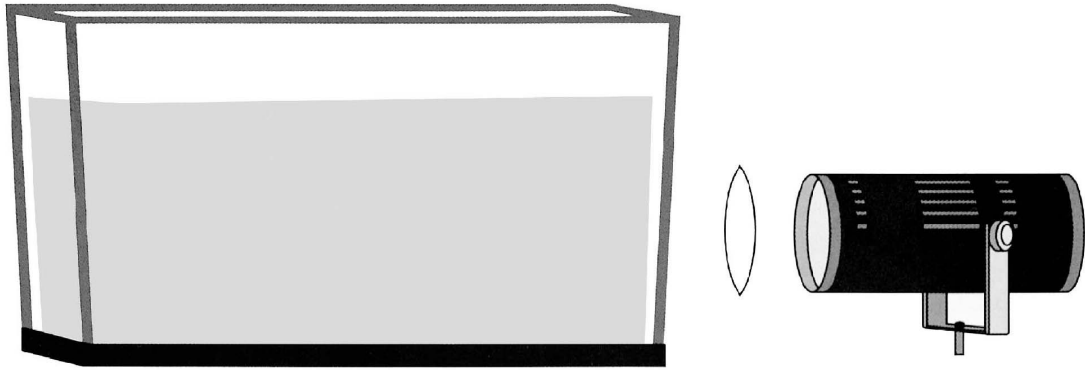


図4 入浴剤による散乱の実験。この実験も凸レンズによる分散光を観察した。

円形に分散した光をプリズムにとおしても、巨大な虹色の輪はできずに、鉛直軸で2分される同じ色配列の半円虹が環状にできる。(図3)形はきれいとはいえないが、受講生にスペクトルを観察してもらいたかったので、大きさを優先した。スクリーンまで近づいてもらい、スペクトルを間近に観察した結果を発表してもらった。受講生のほとんどが青は分かっても藍色や紫色の色みに気づかず、暗い青色ということで片付けていた。同様のことが後の空色実験でも起こる。

次にプリズムを水の入った水槽にかえて実験した。(図4)光線を横から見ても、そのままでは何もないように見える。一方で光線の先の壁には、凸レンズの分散により色のついた輪が映っている。水の中で光はどのようにとおっているのか？それを見る実験である。光線を見るために水を白濁させる。粉末入浴剤を薬さじにほんの少量とって、水に振りかけるように入れた。粉末は、細く短いフィラメントとして溶けながら沈んでいく。その様子はなかなか幻想的で受講者の目を奪った。受講生はそのうち、フィラメントの中に色を持つものがあることを発見した。フィラメントが光線を通ると、散乱による色光を楽しむことができる。また、色のついた光線の円筒が何重にも重なっている様子や凸レンズによる

光線のすばみと広がりも観察できる。最終的に入浴剤が完全に溶けると、白色の光束が観察できる。散乱させるものがあってはじめて、光は眼に届くことを説明した。

### 3 分光器の製作とスペクトルの観察

白色光から色を取り出す道具として分光器を紹介して、簡単なものを実際に工作し、スペクトルの観察を行った。工作した分光器は、内側を黒く塗った箱にスリットを取り付けたもので(図5)、回折格子レプリカ越しにスリットからの光を観察する。数種類の光(表1)をそれぞれ離して設置して、受講者が順番に観察していく。受講者ははじめ漫然と見るだけだったが、スペクトル線の数や色、位置に違いがあることを発見することで観察のコツを掴み、次々にスペクトルの差異を発見していった。太陽光とろうそくの光は、全体の色印象が違うのにスペクトルは同じに見えること、蛍光灯は太陽光と同じ色印象があるにも関わらず、前者は線スペクトルの集まりであること、今回使用したセロファンには赤以外に黄色のスペクトルも含まれていること、同じ赤でも廊下に設置している消火栓のランプでは赤の線スペクトルしか見えないことなどを口々に伝えてくれた。全員がひと通り観察した後、これら発見してくれた事柄をまとめ、スペクトルについて簡単に説明した。

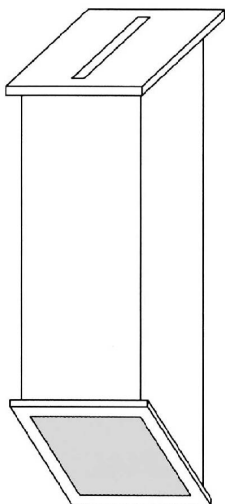


図5 簡易分光器。厚紙で製作。内面はつや消し黒で着色。下の窓に回折格子レプリカを張り付けた。組み立ては受講生による。

表1 簡易分光器で観察した光の一覧

観 察 物	スペクトル	備 考
1 太陽灯	連続	部屋を暗くしたため太陽灯で代用した
2 ロウソク	連続	光の色みは違ってもスペクトルは太陽と同じ
3 蛍光灯	線	同じ虹色でも線スペクトルの集まり
4 赤セロハン	線	赤と黄色の線スペクトル
5 水素放電	線	放電の色とスペクトルの色が違う
6 消火栓赤ランプ	線	赤の線スペクトルのみ

### 4 空色と虹

自然現象で白色光から色光が取り出される現象の例として、空色(青空と夕焼け)と虹をあげて、教室でその現象を実験で再現した。

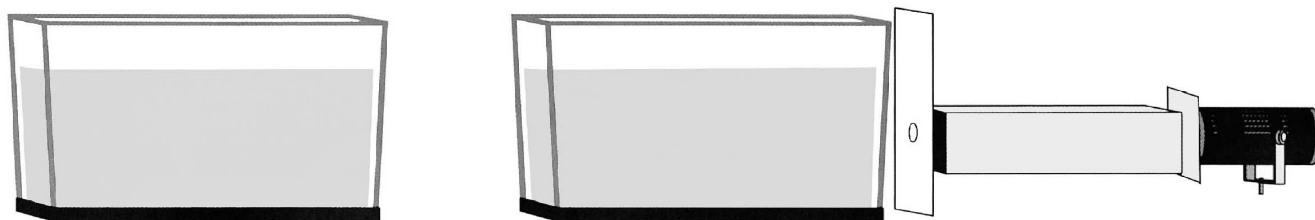


図6 空色実験装置。この他に比較用に水だけの水槽と水を白濁させた水槽を用意した。底面600×300mm程度の水槽に200mmの深さまで水を入れた。牛乳量は左4.5ml, 右1.5ml。水槽間は350mm。光源には減光フィルムを貼った。減光のため700mm光源を下げ、直径50mmの穴に入射光をとおした。

### 空色実験

良く知られているように<sup>(3)</sup>水槽に水を入れ、牛乳をごく少量混ぜることで実験した。(図6)水槽を1つにすると、青と橙を同時につくり出すことが難しいため、今回は2つの水槽を光線軸に並べて設置した。空色における空気の厚みの差は、2つの水槽の牛乳濃度で表現する。水槽の間隔を少しあけることで、光線の軸方向も観察できるようにした。結果的にこのことが、よりきれいな青を見せることになった。水槽の真横から見るより、光線に対して斜め前方から見る方が青色の強度が強いことが確認できた。色の対比のために水だけの水槽と光の当たっていない白く濁した水槽も別個に用意した。また、夕日らしく見せるために、発光部が目立たないように減光フィルムを光源に張り付けて使用した。

実験の前に、青空と夕焼けでは、太陽からきた光の進路が違うこと、光が通過する空気の厚さが違うことを、空気の厚みの数値をあげて簡単に解説した。<sup>(4)</sup>水の量と牛乳の濃度を空気の厚みと見立てることを説明して、実験を開始した。

受講生にとって、青空の結果は少し分かりづらいようであった。青いのか暗いのかが見分けられないようだ。比較のために用意した2つの水槽も散乱光のために、多少青みがかり、逆に比較参考になりにくかった。水槽の間から光線の軸方向に観察すれば、光束の白と比較することで、光束の周りが青くなっていることを発見してくれた。逆に夕焼けと夕日は色が目立つために分かりやすく、こちらの評判は良かった。夕日を見た後、また手前の水槽に戻って直接光線を見ることで、吸収の厚みが大きいことが色を変えることを納得する受講生の姿も見られた。

水槽に向かって光線の軸方向に見る夕焼けと、斜横から見なければならぬ青空という実験結果から、色によって散乱光強度が違うことを説明した。虹の7色の順番もままならない受講生に、色みと波長の長短をからめるわけにはいかず、大雑把に赤や橙と青の傾向にとどめた。そのため、昼間の太陽の色や牛乳を多く入れた水槽に淡く緑色が呈色していたこと、そして白い光束について包括的な説明がつけられなかった。可視光の連続スペクトルに関する波長と色みの関係をしっかり理解させたのち、レイリー散乱をいろいろ例を挙げて説明することは意味

深いことではあるが、今回の講座ではレイリー散乱がテーマではないため、そのような構成をしなかった。実験自身が少し地味であり、受講者に光の波動性と波長という概念を直感的に理解させることが難しく、かつそのことに拘泥することで講座のテンポを崩したくなかったことも理由にあげられる。

### 虹実験

虹色は見せても、空にかかるような形の虹を見せていなかったのので、次に虹を作る実験をした。屋外で水をまいて虹を作ると、開放感も手伝って面白い実験ができるが、天候に左右されることなどから別の方法を用いた。最近、理科教材で非常に細かいビーズに光を当てて虹を作るものがあるので<sup>(5)</sup>、今回はそれを使用した。この教材は、水と全く同じ原理で虹を作れ、かつビーズを見せることによって直感的に空で何が起きているか理解できる点が優れている。黒い紙を貼った板にスプレー糊を吹き付け、ビーズを敷くように張りつけることで簡単に実験装置が作れることも魅力の一つである。

今回は1800ミリ×900ミリのベニヤ板に黒画用紙を貼って使用した。(図7)光の位置と強度を調節して、アーチ状の虹のほかに円環状の虹を作り、飛行機から見た虹として紹介した。この教材の難点の一つでもあるが、ビーズは薄い層なので、視線の角度が見える見えないを決めてしまう。このことを逆手にとって、板まで受講者を板に近づかせて、説明がちになる時間にメリハリを加えた。見えた受講者が見えないものを刺激して、一生懸命見える位置をさがしているうちに屈折角度の重要性を体感する。そこで、虹のできる仕組みをイラストを使って説明する。道ばたで見る虹は水蒸気層の厚さから、立ってもしゃがんでも、虹を見ながら歩いても変わりなく見えるためあまり角度を意識しないが、散乱角は虹が見える機構の本質である。そこで薄い層で虹を見せ、虹のできる仕組みを説明し、空の虹について、太陽光が平行光線であることや、虹を作る層が私達が移動できる距離よりずっと大きいこと、という順番で構成した。実験の時に受講者を集めたが、ビーズが目に入って角膜を気づける危険性があるため、間近までは近付けなかったことも付言しておく。

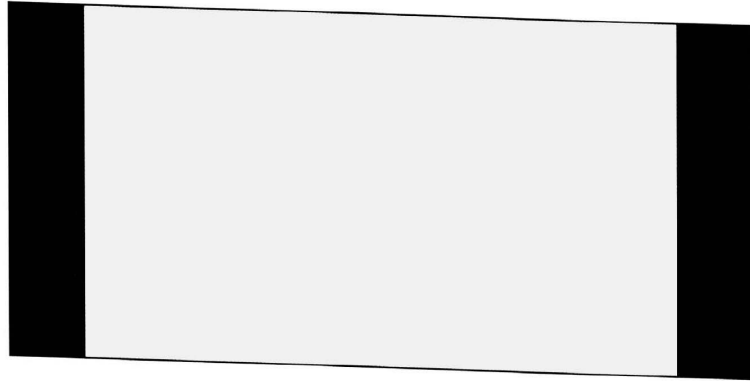
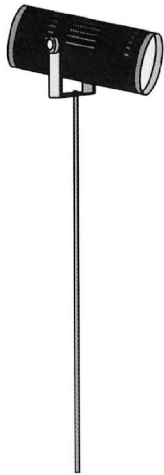


図7 虹観察装置. 1800×900mm のベニヤ板に黒画用紙を貼り、スプレー糊で虹ビーズを張り付けた. 照明は上方からあてた. 虹ビーズが目に入ると角膜を傷つける恐れがあるので、板の至近距離まで受講者が近づかないように注意した.

## 5 複屈折と色

最後に偏光板を使って透過色光を取り出す実験を行った. 複屈折を使って偏光板で色を取り出す<sup>(6)</sup>のだが、受講生で偏光板を知っているものはほとんどいなく、サングラスの例<sup>(7)</sup>をだしてもあまり反応がなかった. そこで、まず偏光板を体験してもらいことにした. 1人2枚ずつ小型の偏光シートを配り、自由に遊んでもらった. ほどなく重ねてお互いの角度をかえると、光をとおしたりとおさなかつたりする性質を発見した. ここでも、光の波動性には触れずに、受講生の発見した偏光シートの特性だけを強調して、受講生に廊下に出てもらった. 当館の廊下は大きな窓ガラスが多く、偏光板で遊ぶには最適の環境であるからだ.

まず、廊下の間接照明による照り返しを偏光シートで消した. 次に、強化ガラスに貼っているシートからの透過光が廊下に当たっている場所に行き、廊下に映っている虹色<sup>(8)</sup>を変化させたりした. また、廊下から駐車場が見えるため、偏光シート越しに車のフロントガラスを見せた. 受講者ひとりひとり見ている色は違うのだが、全員フロントガラスの変わり様に歓声をあげた. 偏光シートをまわすことを教えると、くるくる変わるフロントガラスに釘付けになった. 適当に時間をとって切り上げ、受講生を教室に戻して、本来の実験を始めた.

教室に戻ると、まずセロハンによる複屈折の実験を行った. (図8) 50ミリ角の偏光シートにセロハンテープを適当に貼るよう指示する. ふつうのセロハンテープでは少し薄く、何重にも重ねなければならないため、梱包用の少し厚めのセロハンテープを1枚下に貼り、通常のをテープの厚みなるべく不規則になるように貼らせた. その後、もう1枚の偏光シートを重ねて蛍光灯にかざすと、偏光板がスタンドグラスのように見える. 偏光シートをまわすと、幻想的にくるくる色が変化する. 何をすることが分かれば、受講生は次々にセロハンテープの貼

図8 セロハンの複屈折による呈色の実験. 50mm角の偏光板にセロハンテープを張り付け、その上にもう一枚偏光板を重ねて光に当てる. セロハンテープの厚みをかせぐために、まず梱包用のものを貼った.

り方を工夫しだした. 偏光板の回転で色は変わるが、1回転で得られる色は決まっている. どのような色を取りだせるかは、セロテープの厚みによって変わる. 根気よく試すと、多くの色が見られることを発見する. 厚みが色をきめるのであれば、セロテープを貼ってある偏光シートを少し斜に傾けたり、曲げてやることでも色が変わることを受講者は発見してゆく. そこで次の実験にうつった.

次は、光弾性<sup>(9)</sup>の実験で、この実験も簡単な実験教材が販売されている. 透明なプラスチック製の試験材料を偏光シートで挟んでやり、外から材料を摘んだり引ばったりして変型させる. 変型させると材料の角などに虹色の筋が走るのが偏光シート越しに見える. (図9)

なぜ色が見えるのか、前の偏光シートの実験の類推から受講生は簡単に答えてくれた. 変型すると厚みが変わるのだ. なぜ厚みが変わると色が出現するのか? それを解説することは、残念ながらできなかった. 複屈折、位



## 付録1

当館では毎回、講座についてアンケートを行っている。本講座の集計結果の一部を下に記す。

## アンケート集計

## 講座について

タイトル	光から色を取り出そう
実施日	平成10年12月6日(日)
受講者数	19人(定員20人)
対象	小学校4年生～中学生

## 受講者学年

小4	小5	小6	中1	中2	中3	合計
7	4	5	1	2	0	19

## 受講回数

1回目	2回目	3回目	4回以上
2	2	2	13

## 説明はどうでしたか

分かりやすかった	まあまあ	むつかしかった
13	6	0

## 実験をしてみてどうでしたか

分かりやすかった	まあまあ	むつかしかった
5	12	2

## 主な感想

いろいろな色に見えて面白かった
家にかえて、またやってみたいです
きれいでした
前に見て分からなかった展示の仕組みが分かって良かった

付録2 説明用イラスト

本講座での説明はイラストをOHCでテレビモニタに映して行った。その原稿の一部を掲載する。

