

自然環境の理科教育的基礎研究に関して (第2報)

紫外線

松 森 弘 治¹⁾

A Study On Science Education For The Environment II — UV Radiation —

Koji MATSUMORI

抄録: 自然探究法に関する講座の中で実施した紫外線の問題についての実践を報告する。内容の特徴は簡便なオゾンガス発生装置の製作, それを使った紫外線実験箱による実験, 自作紫外線強度計をも使用した野外での高度差による紫外線強度への影響の測定である。

キーワード: 理科教育, 環境教育, 野外調査, オゾン層, 紫外線

I. は じ め に

近年, 人類の諸活動の著しい拡大に伴って地球的規模の環境の保全が国際的にも重要な問題になってきている。特にオゾン層をはじめとする地球環境の保全のための相次ぐ国際会議の開催や, いわゆる“UV ケア”化粧品の普及をはじめとして一般の人々の紫外線に対する関心も高まってきている。また, 平成6年度より実施されている高等学校学習指導要領においても地球環境の問題がこれまで以上に重要視されてきている。このような社会的背景のもとに地球環境問題について, 物理, 地学的側面からアプローチする一例として紫外線の問題を取り上げることにした。

紫外線についても実験・観察を通して科学的な認識を一層深める必要があると考える。このような観点から, 紫外線についての理科教育的探究法をまとめたので報告する。

II. フロンガスによるオゾン層の破壊について

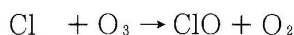
宇宙空間に満ちあふれている有害な紫外線を大気中で補償し, 地球表面を生物の住める環境に保ってくれているのがオゾン層である。オゾンは大気中の酸素から作られ, 酸素量と紫外線強度のバランスから, 地球大気の上層(成層圏)で酸素と平衡を保っている。講座ではフロンガスがオゾン層を破壊するメカニズム, それによる破壊の実態, それに対する対策の現状を次の様に紹介した。

1) 京都教育大学教育学部附属高等学校

1 フロンガスがオゾンを破壊するメカニズム

炭化水素に塩素とフッ素が化合したクロロフルオロカーボン（略称 フロン）ガスがオゾンに破壊的な影響を与えると最初に提唱されたのは1974年、モリナとローランドによってであった。その後いろいろな経過を経たが、現在知られている地球規模のオゾンの減少はやはりフロンが主原因であるとされている。

フロンから発生したCl（ラディカル）を触媒として



成層圏ではこの反応が1分間に1回の割合で繰り返して起っており、1個の塩素が分解するオゾンの数は最終的に数万個にのぼると考えられた（実際は No_x との関連で少し値は小さい）。

2 南極上空のオゾンホールが発見（1986）

オゾン層破壊について窒素酸化物（ No_x ）等の存在が指摘されたりしていたが、1984年以来重大なオゾン量の減少が昭和基地をはじめとして次々に発見され、フロンとの関連が直接、間接に証明され始めた。（図1）

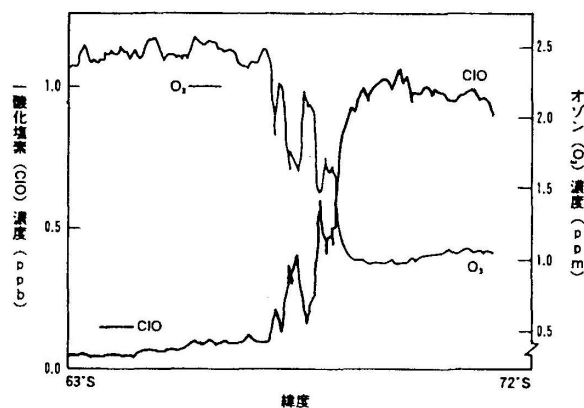
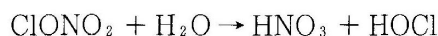
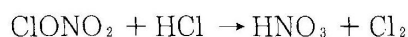


図1 成層圏で観測されたオゾンと一酸化塩素

1986年にはそれまでの人工衛星の全地球的なデータを再解析することにより、南半球の春先に当たる9～11月頃、南極の上空に巨大な「オゾンの穴」ができていることがわかった。

なぜ南極の上空にだけ極端なオゾン量の減少が見られるのかについてはいろいろな説が提案されたが、現在では「極成層圏雲」の存在によるものとして理解されている。これが存在すると雲粒子の表面上で次の反応（多相化学反応）が起こる。



ClONO_2 はフロンと No_x によって作られた

オゾンを守る働きをする物質であるが、なくなったはずの塩素がまた危険な形で現れてしまう。他に「極渦」と言われる南極独特の風系も「極成層雲」の発生を助け、オゾンホールを助長していると言われている。

3 フロンを全廃することの意義

北半球でも確実にオゾン量が減少している。アメリカ科学アカデミーによると、オゾン濃度が1%減少すると地上到達紫外線量は平均2%増加し、非悪性皮膚ガン患者は0.7～5%増加すると言われている。悪性のものについても同様の警告がなされている。

また、紫外線による皮膚ガンの潜伏期間は数十年とされており、現時点での皮膚ガンの発生率にかかわらず、ことは予断を許さない。

4 今までに立てられた対策

以下に主な対策と出来事をあげる。

- 1978～ アメリカ・カナダでスプレー商品中のフロン
の規制が始まる。
- 1985.3 ウィーン会議
- 1987.9 モントリオール議定書締結
- 1989.1 同議定書発効
- 1989.5 ヘルシンキ宣言「フロン今世紀中の全廃」
- 1990.6 議定書締結国会議（ロンドン）

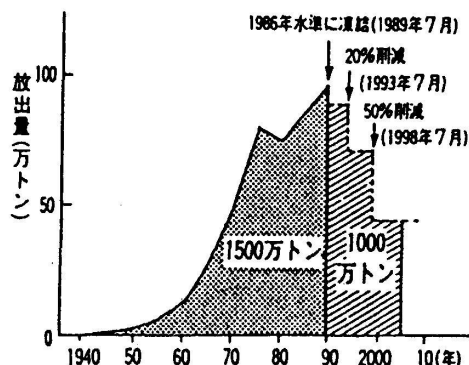


図2 議定書の内容をグラフ化したもの

Ⅲ オゾン、フロンガスを使った実験

1 はじめに

フロンガスによるオゾン層の破壊を、実験・観察を通して科学的に認識するために、次の3つの作業を講座参加の先生方に行ってもらった。

- ・ジメンス型オゾン発生装置の製作
- ・紫外線強度計を用いて、紫外線量の変化を調べる実験
- ・ヨウ化カリウム溶液を用いるオゾン量変化の実験

2 ジメンス型オゾン発生装置の製作

オゾンを発生させる方法で最も一般的なのは、ジメンス型オゾン発生器を用いた無声放電によるものである。そこで今回は、このオゾン発生器を製作してもらい、実験に用いた。なお、小型の誘導コイルでも放電ができるように、できる限り小型のものとした。

(1) 材料

木板(15cm×15cm) 2, (5cm×2cm半円形溝付) 2, ガラス管(外径1.5cm×16cm) 2, ゴム栓(OA号) 2, 銅線(径1mm×160cm) 1, (径2mm×16cm) 1

(2) 製作

木板アと足の部分イおよびガラス管をのせる部分ウを木工用ボンドで接着する。径1mmの銅線エをガラス管に巻き付ける。径2mmの銅線オをゴム栓に通す。細いガラス管をゴム栓に通し、そのゴム栓を太いガラス管に取り付ける。(図3)

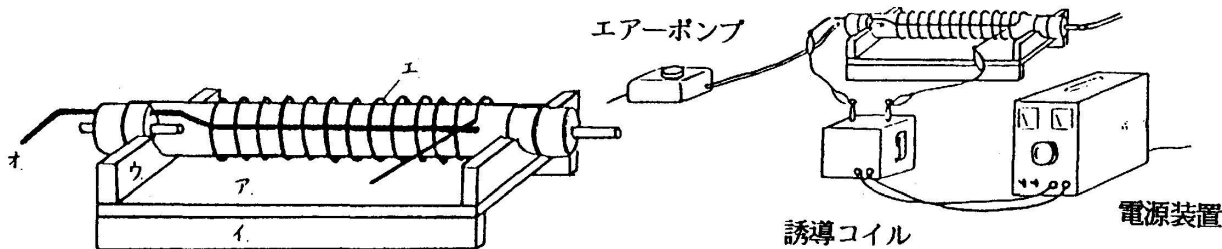


図3 オゾン発生器の放電部分

図4 オゾンの発生装置と方法

3 オゾンの発生方法

電源装置、誘導コイルを用いて放電を行い、そこへエアーポンプで空気を送ると、他端から空気とともにオゾンが発生する。オゾンの発生はぬらしたヨウ化カリウムデンプン紙が青変することで確認する。（図4）

4 紫外線量の変化を調べる実験

自作の紫外線強度計を用いて、空気だけのとき、空気とオゾン、空気とオゾンとフロンガス、の3つの状態のときの受け取る紫外線量を測定して、オゾン層の働きと、そのオゾン層をフロンガスが破壊する様子確かめる実験を行った。

(1) 実験装置

オゾン発生装置、紫外線強度計（自作）、観賞魚用蛍光灯を殺菌灯（GL-15）に交換したもの、アクリル製の四角柱（フタなし）（図5）、外箱

(2) 実験方法

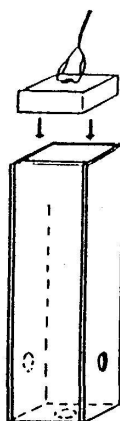


図5 アクリルの筒とセンサ部分

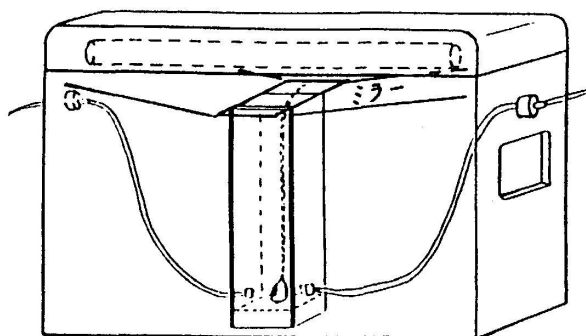


図6 紫外線強度測定の様子

アルミキッチンテープを内側に貼ったアクリル製の筒（5 cm×5 cm×22cm）の上から、木板に取り付けた紫外線強度計のセンサ部分を底まで入れる（図5）。さらに筒の下部左右の2つの穴にゴム栓、チューブを取り付ける。このチューブは外からオゾン、フロンガスを注入するためのものである。

筒を箱に入れて、チューブを接続する。殺菌灯からの紫外線をできるだけ筒に入れるために、塩化ビニルミラー板を筒の上部の左右に取り付ける。最後に、殺菌灯を上のにせる。殺菌灯の入った傘の部分の内側には、アルミホイルを貼りつけて、反射による紫外線も含まれるように工夫した（図6）。

殺菌灯をつけて、その時の紫外線強度を測定する。次に、筒の中にチューブを通して、オゾン発生装置で発生させたオゾンを入れて行き、数分後、数値が安定したときの値を読み取る。これを、空気とオゾンの混合気体を通過したときの紫外線強度とする。さらにもう一方のチューブからフロンガスを加えて値を読み取り、フロンガスによる紫外線強度の変化つまりオゾンの破壊が起きているかどうかを観察する。

空気中にオゾンが含まれると、下まで届く紫外線強度が減少することが確認された。さらにそこ

にフロンガスを加えると、紫外線強度の値が少し上昇した。数値だけをとりえと、オゾンの紫外線吸収、フロンガスによるオゾンの破壊が起っていると考えられる。

今回は市販の殺菌灯（横に長いもの）を用いたため、センサにより多くの紫外線を当てるのに苦労をした。

(3) 実験結果

この実験の結果を下表に示す。

紫外線強度[mV]

測定気体	1回目	2回目
空気のみ	39	39
空気とオゾン	33	33
空気とオゾンとフロンガス	37	35

また、紫外線の吸収が数値でとらえられるくらい、オゾン濃度を高く維持するのに、筒の形状や、ガスの入れ方を工夫した。いずれにしても、実験室でこれらの実験を行うのは、大変なことである。

5 フロンガスによるオゾンの破壊を、ヨウ化カリウム溶液を用いて調べる実験

オゾンは酸化作用が強くヨウ化カリウムからヨウ素を遊離する。ヨウ素が含まれると、溶液は黄色っぽくなるので、溶液の色の付き具合によって、オゾンの量がわかるわけである。そこで、次のような方法で、オゾン量の変化を調べた。

(1) 実験に用いる装置、器具

オゾン発生装置、殺菌灯、300ml丸底フラスコ3個、外箱、水槽、ヨウ化カリウム溶液（1M）

(2) 実験方法

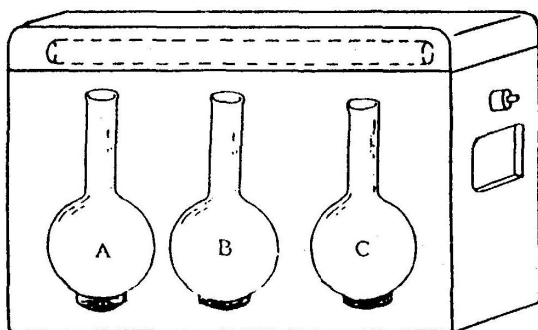


図7 フラスコA～Cに紫外線を照射しているところ

丸底フラスコをそれぞれA、B、Cとして、Aは空気が入ったそのままの状態、Bはオゾン発生装置で発生したオゾンを含む空気を、フラスコの首の根元まで入れて、残りを空気一杯にした状態（オゾンは水上置換で取る）CはBと同様にオゾンを取り、残りをフロンガスでいっぱいにした状態の3種の試料を作る。

フラスコA～Cを外箱に入れ、上に殺菌灯を取り付けて、15分間紫外線を照射する（図7）。

照射後、それぞれのフラスコにヨウ化カリウム溶液を10mlずつ入れてよく振り、それぞれの溶液の色の变化を観察して、オゾン量の変化があったかどうかを確認する。Cの色がBよりも薄くなっていれば、フロンガスによるオゾンの破壊があったことが確認できる。

(3) 実験結果

空気しか入っていないAのフラスコの溶液は、色がつかない。B、Cともヨウ化カリウム溶液は濃い黄色を示し、若干Cの方が色が薄いことから、フロンガスによるオゾンの破壊が確認できた。

ただし、数回の実験結果の中には、B、Cの差がはっきり認められないこともあった。

Ⅳ 紫外線測定器による測定

1 はじめに

皮膚ガンをはじめとする紫外線に起因するさまざまな皮膚傷害を的確に防止するためには、気象条件の1つとしてわれわれを取り巻く紫外線環境を正しく把握する必要がある。しかし太陽光線の紫外線量の測定自体がまだ始まったばかりである。

そこで紫外線環境を正しく把握するための手段として紫外線強度の日変化と観測点の高度による紫外線強度の変化を測定することにした。

2 測定機器と概要

(1) 自作紫外線強度計

紫外線強度を敏感に測定するため、半導体UVセンサを使用した紫外線強度計を制作し測定に使用した。GaAsP ダイオードとUVフィルタを組み合わせた紫外線フォトダイオードをセンサとしたもので、フィルタのおかげで可視光には感じない。

また、後述の携帯型よりも高感度である。回路図を図8に示す。なお測定値はデジタルパネルメーターに出力電圧[mV]単位で表示する。

(2) 携帯型紫外線計

最近市販されている腕時計タイプの紫外線強度計で、シリコンフォトダイオードをセンサとしている。紫外線強度を[W/m²]単位で表示するほか、積算照射量を[KJ/m²]単位で実測できる。また、2時間後の積算予測値も表示でき、日焼けのモニタリングに使用できる。検出波長域は260~390nmで、分光感度特性を図9に示す。

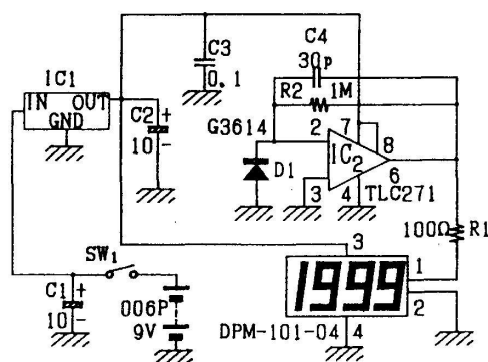


図8 自作紫外線強度計の回路図

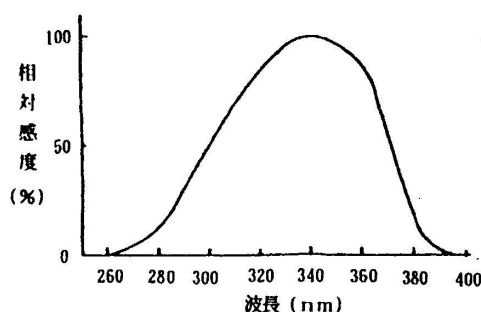


図9 自作紫外線強度計の分光感度特性

3 調査方法

調査地としては、京都市近辺の比較的高い山で交通の便をも考慮して比叡山を選定した。標高の異なる3か所の測定地点について、低いところから順に紫外線強度を測定した。

また、紫外線強度の日変化については比叡山のふもとに近い左京区高野橋東詰め付近を調査地点とし、晴天の日を中心に測定した。(測定日は92年5月31日、6月14日、21日、7月4日、12日の6回である。)

4 紫外線強度の日変化の測定方法

前述の携帯型紫外線計を使用し、まわりをさえぎるものがない場所で受光面を水平に設置して10分ごとに紫外線強度を測定した。

5 測定結果

紫外線強度の日変化の測定結果を図10に示す。

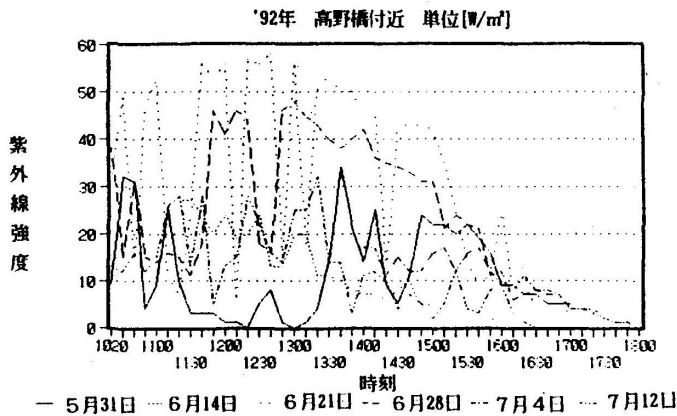


図10 紫外線強度の日変化

6 考察

(1) 紫外線強度が時間帯によって変化することは図10により明らかであり、晴天の場合は12:00をピークとして左右対称の山型の曲線を描き、太陽高度の変化とよく対応する。（6月21日のデータを参照。所々で紫外線強度の落込みがあるのは測定の瞬間にわずかな雲に遮られた影響と考えられる。）

(2) 晴天，曇天，雨天の順に紫外線強度が減少する。（5月31日は午前中

時々降雨，午後より回復）同じ曇天の場合でも雲の厚さにより紫外線強度に大きな違いがある。
(3) 紫外線強度の季節的変動に関しては十分なデータが得られていないが，各測定日のピーク値を比較すると夏至付近で最大ということがうかがえる。

7 高度による紫外線強度の測定方法

比叡山の各測定地点で各種の紫外線強度計を使い，受光面を水平に保持して同時に測定した。雲等により紫外線強度の瞬間的な変動があるため1つの測定点では1分ごとに3つのデータを取り平均した。

8 測定結果（92年7月28日）

野外観察調査時の測定データを表2に示す。

9 考察

前述のように紫外線強度は1日のうちでは正午をピークとして左右対称の山型をなし，午後の測定では後の測定ほど強度の値は小さくなるはずだが，今回は後の測定にもかかわらず標高が高いほど紫外線強度の値は大きくなっている。標高が高くなることにより，大気中での光路が短くなり，紫外線強度が増大すると考えられるが，今回はこの効果の方が時間的な太陽光度の減少を補っているようである。

標高の異なる地点で同時に測定データが得られていないので，定量的な分析ができないのは残念であるが高地で紫外線強度が強いこと，逆に言えば空気層による紫外線の吸収があるということを確認させてくれる。

表2 比叡山での紫外線強度の日変化の例（1[mV] は約0.042 [W/m²] に相当する）

測定地点	自作 強度計 [mv]	携帯型 [W/m ²]	紫外線 強度計 [mW/cm ²]
ふれあいの森 13時37分測定 標高370m	351	13	0.229
	365	14	0.231
	385	15	0.244
平 均	367	14	0.235
夢見ヶ丘 13時56分測定 標高510m	548	24	0.391
	526	30	0.120
	523	32	0.437
平 均	532	29	0.416
山頂駐車場 14時41分測定 標高848m	650	28	0.448
	642	28	0.492
	640	28	0.493
平 均	644	28	0.478

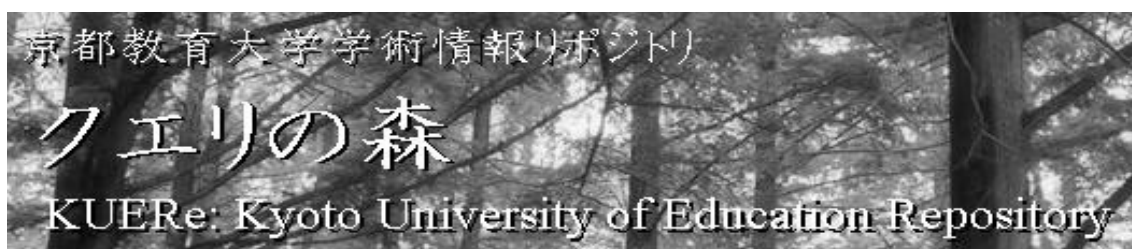
V お わ り に

本報告では、理科教育的側面からの地球環境の探究法について特に紫外線に焦点をあて、実践例を報告した。紫外線は皮膚ガンの発生を初めとして人間生活に種々の影響をあたえていることがわかっていく。今後、オゾン層の破壊による地上到達紫外線量の増大が懸念されている。しかし植物の光合成への影響など、生物に対してどのような影響が出てくるかについての研究の歴史はまだ浅い。それだけに紫外線の性質や安全性について科学的な認識を深めることが必要と考える。

本報告は筆者の前勤務先の京都市青少年科学センターにおいて、1992年8月に実施した現職教員対象の「高等学校理科研究講座」における野外観察・調査の実践をもとにその後の測定結果を付け加えてまとめたものである。

参考資料・文献

- 1) 松森弘治他, 1993年, 「自然環境の理科教育的基礎研究(第7報) フロンガス等によるオゾン層の破壊と紫外線」, 『京都市青少年科学センター報告』, VoL.24, pp.70~74
- 2) 山下功他, 1992年, 「環境変化の物理的計測」-紫外線強度計の開発-, 『京都市青少年科学センター共同研究報告会資料』
- 3) 荒川好次他, 1993年, 「環境変化の物理的計測Ⅱ-紫外線強度の長期計測-」, 『京都市青少年科学センター共同研究報告会資料』
- 4) 福田實他, 1987年, 「本邦における太陽光線の紫外線量」, 『皮膚科紀要』, VoL.82, No.5, pp.551~558
- 5) 伊藤朋之他, 1991年, 「地上到達紫外線量の監視技術の開発-オゾン層変化に伴う地上紫外線量のスペクトル観測による評価-」, 『気象庁研究時報』, VoL.43, No. 5, pp.213~218
- 6) 山崎親康, 1990年, 「個人用紫外線センサーの開発と応用」, 『日本化粧品科学会誌』, VoL.14, No. 4, pp.190~195



この文献は、国立情報学研究所において電子化されたものを、本学でテキスト加工したものです。

