

中谷宇吉郎 雪の科学館 通信特別号〔9年度企画展示報告〕

NAKAYA UKICHIRO
MUSEUM OF
SNOW AND ICE

1998 (平成10) . 3 . 31

発行/中谷宇吉郎 雪の科学館
〒922-0411 石川県加賀市潮津町イ106番地
TEL 07617-5-3323 FAX 07617-5-8088

①特別展/霜柱と凍上 p.1~6

②写真展/水滴と氷晶が
作る空の彩り p.7~8

特別展/

(平成9年10月2日~12月2日開催)

霜柱と凍上



何段にも重なった霜柱
景信山(東京都)の山道付近。(1996.12 撮影:斉藤義範)



凍上で隆起した線路の下の土壌を調べる。長野県小海線で。右手前宇吉郎、その後中山久子。@UNlimited

植物「シモバシラ」の莖から滲み出る水が凍ってできる美しい氷の造形。いろいろな形がある。高尾山(東京都)周辺で。(撮影:斉藤義範)



特別展「霜柱と凍上」について

ザクザクと霜柱を踏んで学校に通う……。最近はあまり見かけなくなったが、少し年配の方ならこんな思い出をお持ちだろう。そして、土の中の水分が凍ると、地面がでこぼこに隆起し、鉄道線路や建物に大きな被害が出る。これが、凍上である。

特別展「霜柱と凍上」では、宇吉郎の重要な研究テーマの一つをとり上げ、宇吉郎がこれにどう取り組んだかを紹介した。凍上の問題点から始まり、現場調査、実験室での再現、対策、とすすめたこの研究は、科学が人々の役にたつよい実例になった。

凍上と密接な関係がある霜柱について、当時の自由学園の女子学生グループによる特筆すべき研究を紹介し、更には、植物「シモバシラ」の茎からしみ出る水が凍ってできる美しい氷の造形を、斉藤義範氏の写真で紹介した。展示



特別展の監修者・東晃氏と展示風景

解説などの機会に、霜柱を作る実験も行った。

以下の方々のご協力を得た。

- 展示監修 東 晃
- 資料提供 慶松幾多子, 斉藤義範, 中谷英二子, 樋口敬二, 小川ミチ, 藤田朋子, 矢作 裕, 武田一夫, 自由学園, 婦人の友友の会金沢支部

凍上とは？

宇吉郎は1939年、札幌鉄道局（今のJR北海道支社）から北海道の鉄道線路の凍上対策の研究を頼まれた。凍上とは、冬になって土が凍ると地面が持ち上がる現象で、これが鉄道線路の下でおこると大変である。線路を支える枕木が持ち上げられ、それが一様におこるわけではないから、線路には波打ったような高低ができて不安定になる。列車はスピードを落として走らなくてはならない。線路を安定にするために、国鉄の保線職員はいつも線路を見

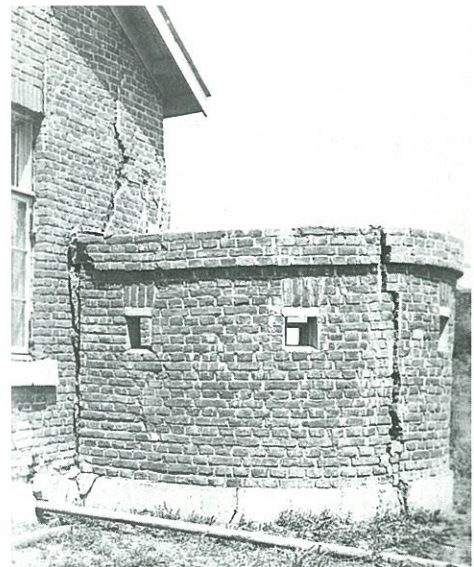
回って挟木(はさみぎ)という作業をしなければならなかった。

凍上の被害を受けるのは鉄道ばかりではなかった。北国の雪の少ない地方の道路や建物の基礎も被害を受けた。秋まき小麦の畑では、凍上による根の持ち上がりを、麦踏みで防いだ。

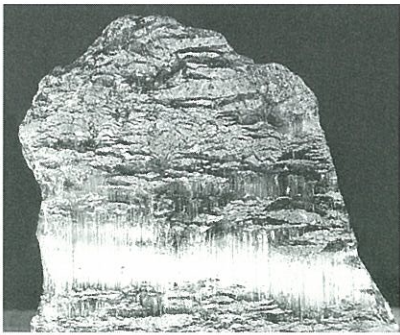
宇吉郎はまず、凍上の起こっている場所の線路の下の土を掘って観察すること〔現場調査〕から始めた。北海道の各地で、堅く凍りついた土を保線職員が苦勞して掘った穴に入って調べると、凍上の激し



鉄道の路盤が凍上によって不整に隆起しレールに凹凸ができるのを修正するため枕木とレールの間に厚さ10cm余りの挟木を挿入してある。根室本線芽室駅構内（1950.3東晃撮影）



凍上によりヒビが入った煉瓦の建築物。満州北部（中谷宇吉郎：第三冬の華「凍上の話」より）



鉄道の路盤の中にできた霜柱状氷層。厚さ約5cm。夕張線追分駅構内（1942 小川新市撮影）

い場所の地中には、霜柱や氷層が厚く析出していることがわかった。凍上の原因は“地中の霜柱”だったのである。

そこで思い出されたのが、自由学園の女子学生たちによる『霜柱の研究』である。宇吉郎の研究より5年前に始められたこの研究を、宇吉郎は随筆で紹介し、「霜柱の研究を本筋の軌道にのせた」と絶賛した。

霜柱の研究

宇吉郎は、東大理学部で寺田寅彦から卒業論文の指導を受けたが、同期の桃谷嘉四郎は寅彦から霜柱のテーマが与えられていたので、宇吉郎は霜柱の物理に早くから関心をもっていた。

1934年の冬、自由学園が南沢（現在の東京都東久留米市）の新校舎に移ったばかりの頃、女子学生のグループが、芝生を貼った広い校庭に高さ15cmを

こえる霜柱が一面に立っているのを見て、「霜柱はどうして立つのか」という素朴な疑問にとらえられた。校庭の芝生のために敷きつめられた土は関東ロームという霜柱の立ちやすい土だった。

霜柱の氷になる水は、どこから来るのか？ できかけた霜柱の先に墨をつけ、墨を頭につけたまま伸びていく霜柱を観察して、土の中の水が地面で凍って伸びることを、彼女たちは確認した（図1）。そして、芝生から離れた教室の傍の乾いた土にジョーロで「オハヨー」の4文字の形にいいいに水をまいて帰った。翌朝、登校して来た彼女らを迎えたのは「オハヨー」の字の見事な霜柱だった（図2）。では、土の中の水が霜柱のもとであるとする、どのくらいの深さまでの水が地面に上ってくるのか？

この疑問を解くため、いろいろな深さのブリキ缶に校庭の土をつめて元にもどし、一晩放置して霜柱を立たせてみた。その結果、10cmの深さまでは霜柱の高さが缶の深さに比例するが、それ以上深くしても変化がなかった（図3）。一晩の霜柱の高さになるには、土の深さ10cmまでに含まれる水で十分ということがわかったのである。こんな実験を、あるときは徹夜をしながら続けたこの研究は、「霜柱の研究」（1937年）「霜柱の研究その二」（1940年）としてまとめられた。

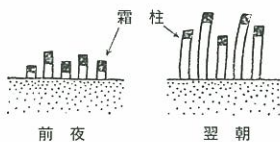


図1

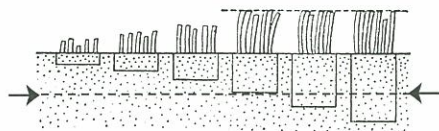


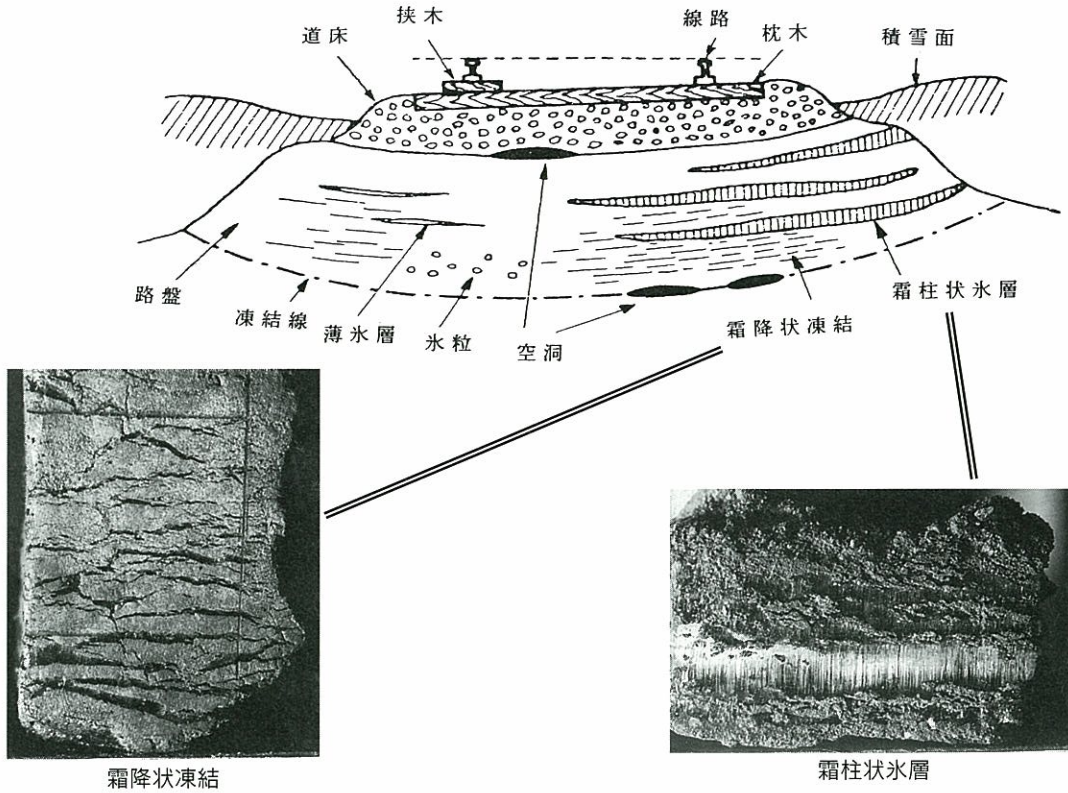
図3



図2（慶松幾多子氏ほか、当時を思い出して描いたパネル）

特別展の期間中に行った霜柱の実験の一例。小さな発泡スチロールの箱の蓋に丸い穴をあけ、穴には内側に吸収紙を張っておき、箱を水で満たして蓋を閉じ、吸収紙の上に少し土をのせ、冷凍庫に一晩入れておいてできた霜柱。昔、自由学園で行われた実験を参考にした。

凍上のおこった線路付近の地下構造



実験室での自然現象の再現

現場調査によって、凍上の原因が“地中の霜柱”であることを突き止めると、宇吉郎は次にこれを実験的に再現するため、低温室での実験に取り組んだ。

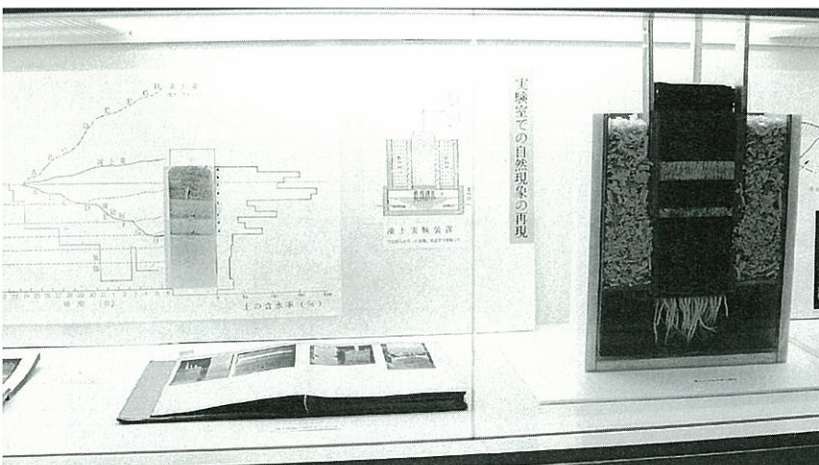
そのため、次のような実験装置を作った。「湿った土を木箱に入れ、底を水槽に連結して、その水を電熱で適当な温度に保てるようにしておく。それが地下水に相当するわけである。木箱は横側から冷えないように断熱して、低温室内に放置し、表面から冷やしてゆく。」

この装置で、まず、地表の霜柱を再現させる実験が行われた。低温室の気温をマイナス10℃程度、下の水槽の温度をプラス10℃程度に調節すると土の表面温度がちょうど0℃になって、表面から霜柱が伸び始める。地表面が平らで少し濡れていると、その薄い水膜が凍って、その下で地中から上昇してくる毛管水が氷として析出する。地表温度0℃の状況が長く続くと、きれいな長い霜柱が伸びる。

次に、気温を更に下げ、水槽の温度も低くすると、地表温度が0℃より下がり、凍結面(0℃のところ)

は地表から地中に入り、地中の凍結面のところに霜柱ができる。そして、霜柱が伸びるに従って、それより上の土は持ち上げられ、凍上が発生した。

こうした実験を、装置を改良しながらすすめた。そして、気温の低下が急激で、地中の凍結面が下へ移動しているときは「霜降状凍結」になって凍上量は少ないが、凍結面がある深さに長く停滞するとき「霜柱状氷層」が厚く成長し、凍上量が大きくなることなどがわかった。



展示風景。右側は人工凍上実験装置の模型。

対策＝凍結面より上を砂に換える

現場調査と低温室の実験によって、凍上の原因が地中にできる霜柱であることが確かめられると、それを防ぐには凍結面で地中の水の分離析出が起こらないようにすれば良いということになる。地中の水の移動は、土の粒子の間の毛管作用で起こり、その強さは粒径などの土質によって異なる。霜柱が関東ロームと呼ばれる火山灰質の土に立ちやすいことはよく知られているが、このような「凍上性の強い土」が鉄道の路盤に入っていたら、路盤の凍結しそうな深さまでの土を「凍上性の弱い」砂質の土で置き換えれば改善できるはずだ。そこで、宇吉郎は置換工法を提案した。

しかし、長い距離の線路下の土を入れ換えるのは新たに線路を敷き直すようなものだから、戦争で材料も労働力も不足していた当時は、駅構内などの重要な場所で小規模に実行されただけだった。

戦後の道路の置換工法

戦後、道路の舗装が普及し、鉄道だけに頼っていた大量輸送が自動車によって行われるようになって、北海道では道路の凍上対策が大きな問題となった。このとき作られた道路凍上対策委員会にも宇吉郎門下の研究者が参加したが、ここでは置換工法が広く採用された（1952年）。特に、新しい国道の改良工事や高速道路建設に当たって、どうせ道路の路盤には深く掘り下げて強度を持たせる材料（砂利など）を入れるのであるから、この際、非凍上性の材料で置きかえてしまえばよいのである。

非凍上性の土を選ぶ基準は、土粒の径が0.074mm以下の微粒子の割合を全体の60%以下にすることになった。自由学園の報告に「霜柱が立つための土の方の条件は微粒子が存在することである」と書かれていることを生かし、具体的な工法に結びつけたものである。現在、交通網の主役になっている道路はこのような工法で作られている。



南満州鉄道に乗る宇吉郎（左）と四高時代からの親友、高野与作（右）。宇吉郎は、高野の要請で満鉄の凍上問題も研究し、解決に導いた。@UNLimited

中国で今も生きる工法

この置換工法によって、北海道で鉄道や道路の凍上が防止できるようになっただけでなく、中国東北部（当時の満州）でも同様な成功を収め、その工法は新中国の時代になっても生き続けている。

1985年、宇吉郎の親友高野与作氏の三女、高野悦子さんが黒河を訪れたとき、その効果を中国側に感謝されたことが『黒龍江への旅』（高野悦子著 新潮社）に語られている。

宇吉郎の言葉より

（凍上問題に取り組んでいた頃の講演記録から）

「基礎的な科学の研究とその応用との関係は、普通に考えられているように、基礎的研究は科学者の任務、その応用は工学者、技術者がやるというように簡単には片づけられない問題であります。基礎と応用とをそのように分業的に考えてきたところに、今日のわが国の科学技術の弱い面があるように考えられます。自然に即して問題をよく考え、一つ一つの問題を切り離して、一歩ずつ落着いてやれば、間もなく全機構が明らかになると思われます。本当に良い研究ならば、必ず実際の役にも立つ、そして一見迂遠なように見えても、実際は案外早道であるというのが、本当の基礎研究であります。」（「基礎的研究とその応用」1940年、『科学小論集』生活社）

自由学園学生と宇吉郎の対話

自由学園・学園新聞第百号（昭和12年7月10日発行）から転載

宇吉郎は自由学園の女子学生による霜柱の研究を高く評価したが、このほど、両者の交流の一端を示す資料の提供を受けた。宇吉郎が自由学園の客となった昭和12年（1937）6月某日、迎いの車中での学生と宇吉郎の一問一答の記録である。「自由学園叢書第一」として「霜柱の研究」（1937年2月出版）が出て間もない頃のことである。学生の真摯な問いと宇吉郎の示唆に富んだ答が速いテンポで続くこの問答は、当時の状況を彷彿とさせる貴重な資料だと考えられる。

霜柱その後

霜柱と布地の研究が、學術叢書として、世に出てよりすでに四ヶ月、その間、各方面に豫期しなかつた反響を興へた。（本紙九十七號参照）それは單に、科學グループによせられた好感ではなく、そのさやかな業績を通して學園の教育精神がみとめられたことになる。こゝに於てその學問的勢力は一層の價值を生じたと言へよう。特に北海道大學の中谷宇吉郎博士は英國の論文を讀んだ後の快感、もしくはマチスの繪を見た後の味ひがする、と三石巖氏に洩した程である。その中谷氏は六月某日南澤の客となる。迎へに行つた科學グループと中谷博士は麥の熟する武蔵野を疾驅しつゝ車中次のやうな一問一答をこゝろみた。

車中に於て

科學一問一答

問 科學グループ

答 中谷宇吉郎博士

「お目にかかれて嬉しうございませぬ、私共は科學グループのものでございませぬ。」

「ア、霜柱をなさつた方々ですな。」

「霜柱の研究は、本當によく出来ました、御世辭ではなくさう思つてゐます。三石先生が御指導になつたのですな。」

「はあ、三石先生が本當に親切に指導して下さいました。此の間先生が書いて下さつた御批評を羽仁先生も大変喜んでいらつしやいました。一番見て頂きたい所を見て下さつたと仰つて、知識を語込むことではなく、獨創的な人間を造り出すことが唯に科學ばかりでなく、學園教育のモットーであり、先生が今日、學校に来て下さつて必らずその事を理解して下さいませぬ。」

「私には教育のやうなことは全然分かりませぬ。物理のことは知らないものですから。物理では良い仕事を生むものは、確に知識だけではありませんね。」

「私共は道具も本當に貧弱なものでございませぬ。」

「今、どこで研究をしていらつしやいますか？」

「目白にある、卒業生の働き場、明日館で、その中に科學グループもございませぬ、まだ科學は、新しく小さい部でございませぬ。そこに私共の手造りの少しの道具があるだけでございませぬ。」

「それでいいのですな。砂漠の中で實驗をした人さへありますから。ガスも水道も電燈もない砂漠の中で、それでも研究は出来るものですね。道具があればそれに越したことはありません。それは寧ろない方がましな位です。」

「霜柱にも新しくどの方面に進んだらよいか伺ひたうございませぬ。土壌の研究等とおつしやる方もございませぬが、私共は霜柱と云ふものを水を離れて考へて見ようかと思つてをります。例へば、ベンゾールの様に結晶する液体を水の代用として。」

「それも一つの方法です。しかし、それは研究の間口を廣げろ方かも知れませぬ。より深く立つ粒子の大きさの限界を知る方面も残されてゐますね。小さい粒子ならよいと書いてありましたが、小さな溶液からは立ちますか？ 溶液と云ふものは物質が最も小さく分割された状態ですか？」

「溶液に立つか？ 本當に今まで考へて見ませんでした。大きい方から立つ所まで追ひ詰めたのですが、その事は逆に小さい方から見て見ることにになりませぬ。分子から次にコロイドと

「さうです、そして結晶については、さまざまの研究が残されてゐます、土のどう云ふ性質が結晶を變化させるか？ それは結晶そのものゝ研究に寄與することになります、廣い勉強になります、もつと粒子と結晶のことを續けられたらよいでせう。しかし研究は深くしてある積りで平板であるともあります、多方面に思ひついたことを見てやつて見るのが一番深く掘りさげることにもなりませう。」

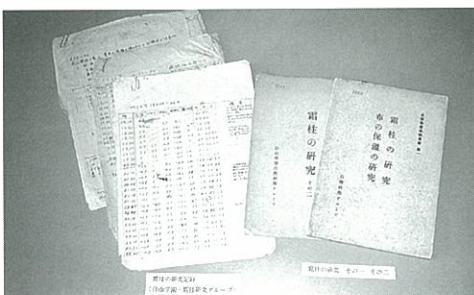
「三石一寺田寅彦先生は霜柱の立つ原因についてどのやうに考へてゐられたのでせうか？」

「はつきり何つたことはありませぬでしたがコロイドと思つていらつしやつたことは確からしいですね。皆さんはコロイドのことに就ては？」

「ずあぶん勉強したり考へたりも致しましたが、發表する自信がございませぬでした。結晶の力と云ふのは、科學でも一番もとの力は「存在する」と云ふことと他判つてゐないことのように思はれませぬ。」

「私は人工の霜を造つてその結晶の研究をしてゐます、夏でもマイナス五十度以下になること出来る部屋で。この間もイギリスから、四角い氷の結晶を見つけたから、そちらでも注意して見てくれと云つて來ました。霜柱の結晶も、レントゲンでその形を調べて上げませう。もう一歩詳しく霜柱を顯微鏡で見るとは、東京の冬でも出來ませぬよ、顯微鏡も、ガラスも、一晩外に出して冷やしておくのです。是非今度の冬は、顯微鏡で結晶を見てごらんませぬ。」

「普通の寫眞も採れませぬでした、又よく見ようとすると溶けて了つたりして。もつと正確などの分る様に、實驗も展開したいと存じます。次はより進歩した報告が出したうございませぬ。」



観察記録(左)と「霜柱の研究」「同その二」(右)

写真展 / 水滴と氷晶がつくる空の彩り

(平成9年7月17日～9月2日開催)

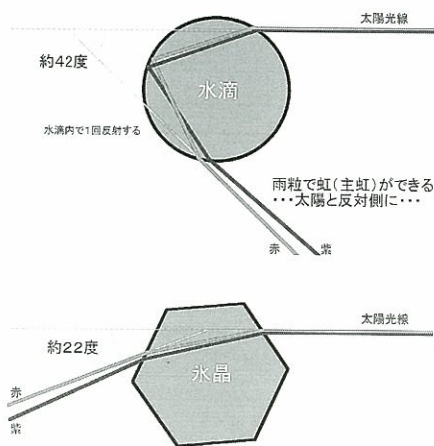
雨あがりなどにできる虹は、太陽の光が空に浮かんだ水滴にさし込み、屈折・反射した後目にとびこんできたものである。空には、水滴のほか、氷晶（六角形をした氷の粒）が浮かんでいることもあり、これに光があたると、ハロ（暈）などができる。空でみられる美しく不思議な現象を撮り続けている千葉県の高校教師・武田康男氏の協力により、標題の写真展を開催した。その一環として、ビーズ玉によって虹をつくるコーナーも設けた。また、武田氏の講演と実験（8月3日）などの科学教室を開催した。



水の入ったフラスコを水滴にみたて（左上）、六角の亚克力を氷晶にみたてて（右下）光の実験を行った。演示しているのは武田康男氏。

水滴や氷晶による光の経路

(虹や暈ができる理由)



編集後記

- この通信特別号は、9年度に実施した2つの企画展示、特別展と写真展の概要を紹介した。9年度のこの他の事業や10年度の予告、ニュース、読み物等は、並行して編集している通信5号をご覧ください。
- 今回の「霜柱と凍上」の展示監修は東見先生にお願いした。東先生は、昨年末、『雪と氷の科学者・中谷宇吉郎』を出版されたが、展示の構想を相談する際に、出版前の原稿の一部を見せていただき、大変役に立った。今回のテーマに限らず、宇吉郎の研究を詳しく知

りたい人に、この本をおすすめしたい。

- 写真展「水滴と氷晶がつくる空の彩り」では、武田康男氏の協力をえた。空にみられる美しい色とかたちを伴う現象のうち、特に、氷晶が関与するものに力点を置いた。なお、この写真展開催の発端の一つは、雪の科学館の上空に美しい環天頂アークが見られた（8歳の写真）ことであった。また、宇吉郎の科学随筆に「虹」（『霧退治』1950）がある。盲目の少女の絵の話から始まるこの随筆を、この機会に興味深く読んだ。



上：主虹（左）と副虹（右）

副虹は色の並びが逆になっている。千葉県野田市で。撮影：武田康男

右：虹の見え方

太陽を背にして対日点から 42° と 51° の方向に虹の輪が見える。

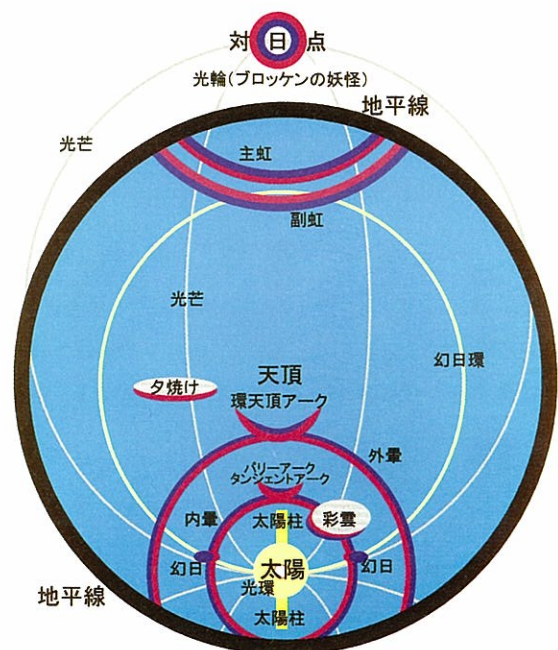
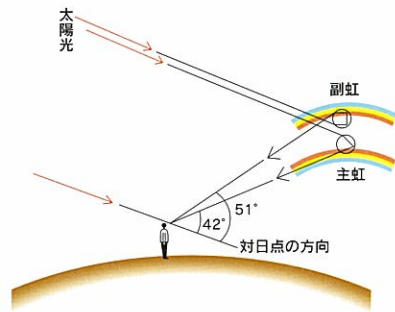
『空の色と光の図鑑』（草思社）より

下：雪の科学館の上空にできた環天頂アーク

氷晶が関与した現象で、天頂を取りまく円の一部の形になる。1996.1.19撮影

右下：空に見える光の気象現象（高さ約10km以下の現象）

主に、水滴と氷晶が関与した現象についてまとめた。



作図：武田 康男