

●4 雨、雪、雲、光からの贈りもの

◆雲とは、どうしてできるのだろうか?
◆雲にどんな種類があるか?

◆雪の結晶は天からの手紙、
(雪の結晶の不思議)

◆雪を作り、霧を消す
(人工降雪、消霧。◆樹氷、霧◆過冷却雪粒の不思議な振る舞い)

◆「暖かい雨」、「冷たい雨」が降るしくみ

◆降水のいろいろ
地雨と驟雨、雪霰と氷霰、雹、凍雨。

◆

◆空はなぜ青く、夕焼けはなぜ赤い

◆虹の不思議

◆ブロッケンの妖怪

◆緑の太陽 ダリーンフラッシュ

◆蜃気楼 光の屈折、ハロー、太陽柱

◆日本で見えたスーパー・オーロラ
• オーロラのしくみ

◆雲とはどうしてできるのだろうか？

空気中の水は、目に見えない气体の水蒸氣と、見える水粒子と水粒子という气体、液体、固体の水の三態^{注1)}に姿を変えています。雲とは、空に浮んでいる直径が2から20ミクロン程度の微水滴や水粒子でできています。水粒子は表面張力^{注2)}で円い水滴となります。これを雲粒子と呼び、水の粒子、おもに雪の結晶ですがを総称して水晶と呼んでいます。

身近なところで雲がどうしてできるか考えてみましょう。沸騰しているヤカンの口からさかんに白い湯気が出していますが、この白い湯気が雲粒にあたります。ヤカンの口と、その先の白い湯気との間に透明な空気だけが動いているところがありますが、この部分が水蒸気をたくさん含んだ空気が噴出しているところで、周囲の空気に冷やされ目に見える白い湯気、水の粒になつたのです。

空気自身が含むことのできる水蒸気量は、温度によって決まっています。沸騰した空気は多くの水蒸気を含んでいますので、冷されると飽和して雲粒（湯気）となるのです（注3）。寒い日に外で息を吐くと息が白く見えることがあります。これも同じ原理で、吐く息は温度が高く湿つてるので、水蒸気が冷やされてごく小さい

雲粒が白く見えるのです。この湯気や白い息がすぐに消えてしまうのは、水滴が蒸発して水蒸気にもどつて見えなくなつてしまふからです。

空の雲粒は、水蒸気をたっぷり含んだ暖かな空気が上昇して冷されて飽和するとできます。

空気が上昇するのは、低気圧の前線付近や積乱雲の中、また山や丘の斜面を気流が上昇するなどが原因でおこります。飽和して、凝結、凝固によつて、空に大量の水の粒子や、凍つた雪や雹やアラレなどの固体の水晶が浮んで雲となります。

しかし本当のところは、空気中を自由に浮んでフラフラと動き回っている水蒸気が、極微の雲粒にまとまって成長して一人前の数ミクロン程度の雲粒になるのは大変難いはんしです。半径が小さいほど表面張力が大きくなり水蒸気がつきにくく成長し難いのです。そこで芯となる凝結核の役割が必要なのです。

私たちの住んでいる周りには、チリや土ホコリなど芯がたくさんあり、上空でも海の波浪などでシブキが放り出されたできた塩の分の粉や、煙突や自動車の排気ガスのエーロゾルという微粒子や、黄砂、火山灰、土ホコリなどです。太平洋高気圧など海洋性気団のなかでは1立方cmに100個くらい、大陸上では500個程度と多く含まれています。これだけたくさんあれば芯は十分です。この雲の芯を「凝結核」とい

います。これだけあれば、空気が飽和すれば雲の粒ができるのです。

地上付近でも芯がたくさんありますので、ヤカンの口でも湯気となり、早朝冷え込んだときなどに濃い霧が発生します。霧も雲も同じで、地面付近で発生した雲が霧で空では雲となります。低温の時にできる上空の水晶の雲^{注4)}は、凝結核と同じような水晶核という芯が必要です。

このように、いろいろな難しいハードルを超えて雲が出来たり消えたりしています。雲粒と雨粒や水晶との違いは、落下する速さで区別しています。毎秒1mくらいが目安で、それより速いと雨や雪となり、遅いと雲粒になります。空に浮んでいるよう見える雲も必ず落ちているのです。ボツリと降つてくるには、また難しいのです

+++++

注1)

水の3態と、雲粒と水晶

水の3態とは、水→気化→水蒸気→凝結→水凝固→氷融解→水→水蒸気→昇華→氷昇華→水蒸気

注2) 表面張力とは、ハスの葉の上の水滴が丸くなるのと同じ原理で、小さくなろうとする力のことです。雲粒は、表面張力で円い水滴となります。雲の代表的な直径は2から20ミクロン（1ミクロンは千分の1mm）

注3) それぞれの温度で含むことのできる最大の水蒸気量を「飽和水蒸気量」といいます。

注4) 凝結核、水晶核

◆雲にどんな種類があるか？

雲とは、空に浮かんでいる水滴（雲粒）と氷の微結晶氷晶の集まりです。季節、緯度、場所、高さや、気温、水蒸気、上昇気流、風の流れで刻々と姿を変えて、います。雲の種類は大きく分けて、横に広がる層雲、層状雲と、たての方向に発達する積雲、積乱雲に分けられています。雲の出来る高さで、「上層雲」「中層雲」「下層雲」に分け、雲の種類との組み合わせでどのようにでもわかるように国際分類の「10種の雲形」に分類することになった。

高さ7kmから10kmくらいにできる上層雲は「巻雲」と字がついていますが、マイナス数十度、数ミクロンサイズの極微の雪の結晶でつくられています。かぎ状や筋状、毛状が特徴の「巻雲」は筋状に伸びています。青い空に最も目立つ繊細な雲なのです。英語で「シーラス」とは、巻き毛を意味しております。上空のジェット気流にともなう細長く2千km以上ものびる巻雲をジェット巻雲とよんでいます。

「巻層雲」は、薄いベール状の雲で薄い上層雲を通して太陽に丸い円形の虹のようなものが見えて太陽に暈（ひかる）とも呼ぶ）がかかり、夜は月の暈（ひかる）もある。低気圧が近づくと、中心の前方のゆっくりとした上昇気流でつくられるので、半日さきくらいの悪天の接近を知らせ

る兆しの雲となります。「巻積雲」はハチの巣のような小さな粒状の雲が一面に広がり、秋を代表する「うろこ雲」になります。

「中層雲」は高さ2~7kmに広がり、多くは水滴の雲となっています。下層と上層の中間で、高積雲、高層雲と「高」がつき、「層」は水平に広がり、「積」は縦に伸びて団塊状となり、「乱」は雨の性格が強い。

「高積雲」は、ひつじ雲と呼ばれ、巻積雲と同じように一面にウロコ状の雲となります。レンズ雲は、上空が湿っていて風が強い証拠で、雲が水平にレンズのような形となり悪天の兆しの典型的なものです。

「高層雲」は、ちょうどすりガラスを通して太陽を見えるような雲の厚さで空一面を覆っています。月や太陽がぼやけてみえるので、おぼろ雲とも呼ばれており、悪天の前兆となります。「乱層雲」は、言葉のようない空をあわただしく動き乱れる、まさに雨雲です。雨の降りかたは積雲などによる降ったり止んだりを繰り返すにわか雨、驟雨性の雨に対して、地雨（じあめ）性といいう連続した雨となり、温暖前線や停滞前線によってふる雨の多くがこの雨です。

「下層雲」には横方向に広がる層がつく「層積雲」とたてに発達している「積雲」、「積乱雲」にわかっています。層雲は層状に広がる雲で、地面につければ霧となり、細かな雨粒で霧雨が降ります。層積雲は「ロール状雲」の列が横方向にたくさん並んだ雲

で、下層で捉えどころのない雲も多くはの中に分類しています。「積雲」は、青空にぽつかりとうかぶワタ雲で代表されますが、積乱雲の一歩手前に発達した雄大積雲ともなります。

「積乱雲」は入道雲のことで、雲の頂の部分が界面で押さえられて、ちょうど雲が頭を打ったように水平に雲状に広がるとカナトコがたの積乱雲となります。

成層圏を飛んでいるジェット機から下界を見わたすと、地平線まで真っ白な雲海で埋め尽くされて、その上を歩いていける雲の姿が見えます。そして高空にあるが手の届くところに流れ、入道雲が下界からニヨキニヨキと湧き上がってきて、います。目線の違いでまたたく別な雲の姿が見えます。

+++++

◆ 雪の結晶は、天からの手紙

雪雲のなかでは、雪の結晶は姿を一瞬に変えながら白い妖精のごとく降ります。雪という天から送くられてきた手紙には、結晶の形および模様という言葉で書かれています。その言葉を解き明かせば、空の気温や湿度などの状態がわかることがあります。降る雪を手袋でそつと受けてみますと、幸運なときには小さな結晶を散りばめた6本の腕を伸ばした美しい雪の華の結晶を見ることができ、時には12本や、まれに18本の腕を持つて雪の結晶を見ることがあります。

大きく成長した六華の枝状に伸びた雪の結晶は上空の水分の豊富さがわかります。6角形の腕にも紋用が細かく刻み込まれ、ガラスのように薄い6角板の薄い結晶、水晶をそのまま小さくした6角柱の雪の結晶、その6角柱の両端に6角板の結晶が成長したつづみ型、そしてマイナス30°Cを超す低温の時にできる極微の針のような結晶や砲弾型の結晶など顕微鏡の円い視野のなかに、さまざまに姿を見ることがあります。

なぜ、6本の腕がのびるのだろうか？雪の結晶ができるのは、まず1から数ミリほどの中心の芯（注1）に周りに氷の結晶ができる成長はじめます。さらに空気中の水蒸気を取り込んでどんどん成長します。ジ

ヤングルジムのような水の分子がギッシリつまっている氷の結晶の性質からからは、6つのカドの成長が速く、基本形の6角形の氷板が成長し、カドから木の枝のような氷の腕が伸びて六華の美しい樹枝状となるのです。

雪の結晶の成長とその形は、雪を取りまく温度と氷にたいする過飽和（注2）の程度によって決まります。6角柱から6角板、枝が出て樹枝上の6華に成長するように、刻々とかわる上空の条件が雪の姿を反映してきます。雪は天から送られた手紙であります。その手紙の文句は結晶の形、模様といふ暗号でかかれている」と、降る雪の結晶を見れば、上空の状態を知ることができるという雪博士、中谷宇吉郎の有名な言葉となるのです。

雲の中で雪片や過冷却の雲粒が無数にくつづけ雪だるまのように太って先に落ちてくるのがアラレです。4号サイズ大の雪の結晶は、ひらひらと落下するので速度が50cm・秒と遅いが、アラレは雪片がぐるぐる巻きで円くなつて落ちてくるので、2号サイズでも毎秒8mほど速い。北国の冬のはじめは、ミヅレ混じりの初雪が降る。そして雪雲から雪つぶてのようにながら雪が落ちて激しく屋根を打つ音で始まり、その後を追つて本格的に雪降りとなるのです。本格的な雪が降つては消えた積もり、いつの間にか根雪の季節となります。雪の魅力は、繊細な造作と、ユキという

注2) 過飽和とは、空気中で、水と氷の表面に対しても同じ水蒸気でも、湿度が100%で飽和していくと、氷の表面ではでを超えたもので、マイナス十五度一六度にもなり、水滴から氷に水蒸

注1) • 火山灰のチリや黄砂のような中心の芯。水晶核とよばれている。

注2) 過飽和とは、空気中で、水と氷の表面に對しても同じ水蒸気でも、湿度が100%で飽和していくと、氷の表面ではでを超えたもので、マイナス十五度一六度にもなり、水滴から氷に水蒸

言葉の響きが良いことです。30年以上も昔だが筆者が南極昭和基地に越冬したおりに「ユキ」という言葉に大変に厄介になりました。今でこそ赤道上空の通信衛星経由で、日本と南極が国際電話やメールで結ばれていますが、当時は日本とは「下ンツー」と呼ばれるモールスによる電報が唯一の通信手段でした。越冬中の1年余の間は手紙も届かずカタ仮名の電報が日本の家族と南極を結ぶ唯一の糸でした。短い力ナ文のなかにいかに多くの言葉を伝えるかが勝負で、日本を出発する前にアメとかユキとか短い言葉の組み合わせで通じるカタカナ暗号表を作った。その中で「ユキ」は最も多く使われた言葉の一つであり、「ユキ」は白い大陸南極と日本を結んだ便りの暗号のひとつでした。

◆雪の結晶を作る。霧を消す。

神秘的でロマンを思わせる六華や針状、ツヅミ、角柱などの雪の結晶を、部屋全体を冷せる低温実験室で、気温と湿度と気流の速さ（風速）など、さまざまな条件をかえてやれば自在に作ることができます。雪研究の草分けである、雪博士中谷宇吉郎はいまから50年も前に、低温実験室の中で、あらゆる雪の結晶をつくりだすに成功して、「雪は天から送られてきた手紙」との言葉を残した。当時、雪の結晶をつくるのに最も難しかったのは、結晶の芯を何にするかでした。試行錯誤をしてたどり着いたのは、ウサギの毛の先のこぶでした。結晶を作り温度を変え、過飽和の度合いを変えて雪の結晶を自在に作ることができるようになりました。

身近で雪の結晶をアイスボックスで作ることができます。まず底に氷をいれて霜がつくまで中の空気を零度以下にかなり冷さしておきます。そこに暖かい息をフーツと吹き込むと冷えて白い霧のような雲ができます。零度以下に冷された雲、過冷却の微水滴が浮かんでいる白い霧、雲ができるのです。これに雪の結晶となるために必要な雪の芯、水晶核が必要をいれてやればよいのです。そこでマッチをすつて火を消すと、煙の微粒子ができて、それが水晶核となつて雪の核、芯となり、極微の雪の

結晶が成長できるのです。

もう一步、雪の結晶でき方を速めるため、ボリエチレンの空気入りクリッショーンをパチンとひとつぶすとよい。パチンと破裂した瞬間に空気が急膨張して急冷されてできた核が無数にでき、過飽和のなかで雲粒がたくさんできます。そしてアイスボックスを暗くして「筋の光で照らしながら二、三分のあいだ待つと、キラキラと輝く雪の結晶が光の中に輝きはじめ、白い過冷却の雲が消えながら雪の結晶が急速に大きくなつてきます。過冷却の雲を食いつぶしながら雪が見えます。ときには見事な六華の結晶となつて底に落下してくるのです。

寒い地方での零度以下に下がった濃霧となつてているところでの霧消し作戦にこの原理がつかえます。道路や滑走路などが過冷却の霧で閉ざされているときに、人工的に雪の芯となる核、水晶核を種まきをして、雪の結晶をつくり、霧を減らして視界をよくする方法です。水晶核の数は雲粒や霧粒の芯となる凝結核に比べ1万分の1くらいしかなく、絶対数が不足し、ふつうの状態で過冷却の霧、雲粒がそのまま浮んでいます。その不足分を補つてやつて自然の力を借りながら、自然の巧みさを利用して無公害の霧消しをする方法となるのです。

でおこなわれています。過冷却の雲のなかで、雪の結晶を増やす方法です。雪雲のかには過冷却水滴が十分に残っている雲があり、そこにタネまきをして雪をたくさん成長させ降らせます。

実は、夏の水不足のときに水源地の上空で人工降雨をして雨を降らせる試みをすることがありますが、これも同じ原理の利用なのです。夏の雲とはいえ積雲のように高さ方向に発達している雲の中では、地上で気温が30°Cでも、5千m付近ではマイナスとなつて過冷却な雲となつているのです。このような雲に向かつて種まきをすれば、このようないわく、まだ本当にうまくいったケースは少ないのです。自然を利用するのなかなか難しいものです。

一方、もっと大がかりに人工的に雪を降らせる実験が冬の日本海側の地方の上空

◆過冷却の雲粒の

不思議なふるまい

樹氷、霧氷はスリムな木が好き)

冬山の風景写真で白樺の木に似たダケカンバの大木の枝々が樹氷で覆われ、白い透明な氷の花を咲かせている幻想的な風景を見ることができます。秋の落葉以来、裸の木々が真冬の寒さで氷の花の白い衣装を着飾つたようです。

一方、雪に覆われた深い谷沿いの木々には、暖かな川の流れからでてきた水蒸気が厳寒の冷気に触れて直接、木々に凍りつき、まるで木に花が咲いたように白く包み込んでいました。木花（きばな）とよばれているもので、いわば木の枝々に水蒸が直接、昇華して霜が成長したもので、木の枝々の表面から、雪の結晶が伸びてきましたことなります。樹に霜が降りると書いて「樹霜」といい、樹氷とでき方が違います。樹氷も樹霜も木々を氷で飾るので、両方を合わせて一般には「霧氷」とよばれています。

「樹氷」は表面張力によつて球形となつてゐる過冷却水滴が、マイナス十度とか二十度になつても凍らないという過冷却の霧や雲の小さな水滴が、木の枝々にぶつかり凍りついてしまうのです。風に運ばれた百分の何ミリという微水滴が細い枝に衝突して凍結して、一枚一枚ごく薄い氷の皮の氷で枝々を包み込み、ガラス細工のよ

うな姿を見せてくれます。

東北地方の蔵王や八甲田山で有名な樹氷は、樹氷がどんどん生長して木の全体を覆つてしまい雪の怪物のようになつてしまします。冬枯れのダケカンバや落葉松の枝々に薄いガラスのような霧氷が朝日に輝く瞬間が最も幻想的です。風が吹いて霧氷がゆれたらどんな音色が聞こえてくる

のでしょうか。霧や雲粒は数ミクロンという微水滴なので、風まかせに流れ、大きな障害物は避けて通つてしまふ性質があります。その結果、もののカドとか木々の枝などスリムなものにぶつかつて風上側にのびてエビの尻尾のような形となることが多い。

低温の時は霧氷、樹氷となりますが、マイナス40度近く二なつても凍らないので、風まかせに流れ、大きな障害物は避けて通つてしまふ性質があります。その結果、もののカドとか木々の枝などスリムなものにぶつかつて風上側にのびてエビの尻尾のような形となることが多い。

霧粒、雲粒は、極端な場合ではマイナス40度近く二なつても凍らないことすらあります。過冷却水滴の不思議さが、霧氷をはじめ自然の素晴らしい姿を見せてくれるとともに、着氷という悪さもしています。自然はいたずらのかもしれません。

+++++

樹氷も疎表、雨水も過冷却水滴が物體にあたつて凍りつくもので着氷現象とおなじものです。とくに電線着氷や航空機への着氷が危険です。巡航する高度が低い小型機では、過冷却の雲に遭遇する機会が多く操縦系への着氷が特に危険です。

また鉄道の架線に着氷すると、凍つた架線が弾力をなくして電車の通過で切れたりする危険となります。また山越えの送電線への木々と同じでしばしば着氷するので、電流を多く流しています。

霧粒、雲粒は、極端な場合ではマイナス40度近く二なつても凍らないことすらあります。過冷却水滴の不思議さが、霧氷をはじめ自然の素晴らしい姿を見せてくれるとともに、着氷という悪さもしています。自然はいたずらのかもしれません。

◆ 暖かい雨」と 寒たい雨

雲を作る小さい水滴や氷の粒子、雪が集まってできていますが、粒が大きく重くなつて落下するのが雨や雪です。雲粒と雨の違いは落下速度の違いだけで、毎秒1mくらいが目安で、それより速ければ雨、遅ければ雲粒です。

雲粒の代表的な大きさは、直径2ミクロンであり、代表的な雨滴は2ミリであり、直径にし100倍、体積にして100万倍である。なぜ1時間、長くても数時間足らずで100万倍に成長できるのかがカギとなるのです。

この成長の過程には、熱帯や亜熱帯地方の海上や海岸で降る雨で、雲の中の温度がプラスで水滴しかに存在しない雲から降る雨の「暖かい雨」のしくみと、中緯度の日本付近のように、上空では0°C以下の雪だらけの「寒たい雲」から雪が解けて降ってくる「寒たい雨」のしくみに分けられます。

0°C以下となつた部分の雨雲の中では、氷粒子、雪と表面張力の影響で0°Cになつてもなかなか凍らない過冷却な水滴が混在していることになります。その結果、水と水の飽和蒸気圧が違うため（注1）、水滴が蒸発して水晶が

どんどん大きく成長します。氷の結晶が大きくなるにつれて落下速度が速くなるので、

その途中で小さな雲粒を合体（捕捉といふ）して、ますます大きくなり数十万倍から数百万倍に急成長します。何段ものプロセスをへて、やつと地上に雨粒のボツリとまつて落ちてくるだろうか？」と小学生に質問したところ、涙の形、次に流線型という答えが多かつたが、実際は、お供え餅の形に似た形というと信じてもらえたかった。

直径4mmだと立派なお供え餅かたで毎秒10mくらいでぶるぶると振動しながら落解けつつ降るのがミゾレとなります。

「暖かい雨」は、雲の中で、水晶がない熱帯地方やハワイなどの亜熱帯地方で降る雨で、雨粒までの成長は、単に雲粒同士が衝突して大きくなる必要があります。もし雲粒の大きさが同じなら落下速度が同じとなり、衝突しにくく大きくなりません。も

そ自然は巧妙にその答えを用意してくれました。

雨の芯となる凝結核という空気中に浮遊する大きなチリや海のしぶきなどが蒸発してできる巨な海塩核をタネに雲粒の大きさを不ぞろいにしたのです。もともと大きめな雲粒になり、直径の違いから落下速度が違い、衝突合体のチャンスが大きくなり、大きくなれば、衝突の機会がよりま

して、雲粒が効率よく成長して数十万個分

が集まる（直径100μm）と0・2mmから2mm程度サイズの雨粒となつてポツリと降ってきます。海の近くで雲の高さが数km以下のところで降る雨が多い。しかし熱帯のスコールの雨は、ふるので雲頂温度がマイナスとなり、「寒たい雨」のしくみで降ることになります。

+++++

注1)

例えばマイナス15度、水にして飽和蒸気圧（湿度100%）は、水に対する飽和蒸気圧が16パーセンも高く水晶に対して16%の過飽和となり、水滴の表面からどんどん蒸発して水晶が太ることになります。

◆降水のいろいろ

雨や雪が落下して降つてくる現象を降雪、降水といいます。地雨と驟雨、雪霰と氷霰、雹、雪に霰、凍雨な地面に降つてものをいい、空の雲は地上へ降りなければ霧となりますが、粒が大きくなれば霧雨となって降水となります。空中に浮んでいるものや、霜や露は地面にや葉に直接つくので降水であります。雪やアラレが融ければ雨となり、解ける途中がミヅレ(霰)となるよう、場所、どのような雲から降つくるのかなど条件の違いでかわるます。

厳冬期の北海道の美深や富良野では放射冷却で厳しく冷え込んだ冬晴れの朝、柔らかな陽光のなかで極微な氷のブリズム結晶が浮遊して、まるでダイヤモンドの粉をまぶしたようキラキラと輝く幽玄の世界となります。ダイヤモンドダストと呼ばれていますが、気象用語では、細氷と分類され、しゆう雪、霧雪とこの細氷などとは別けています。低温で直接、昇華によって氷の結晶ができるからです。過冷却の霧粒が凍つてできる霧氷が冬枯れの木々を飾っていますが、霧氷は降水ではありません。

雨も大きく分けて、層状性の雲からシットと連続的に降る、「地雨」や「あめ」と、積雲、積乱雲の対流性の雲によつて降る、「雨に強弱がはつきりしている驟雨」じゅ

うう」とあります。梅雨時に関東地方などで北東気流で降る霧雨のシットシット雨や、やませなどで降る冷たい雨が地雨の代表です。一方、雷雨など激しい雨が強弱のコントラストをつけながら降るのは驟雨の代表で、晚秋から初冬の日本海側の地方でサートと降つて止み、またサートと降つて止む「時雨」も驟雨です。雪が融ければ雨となり、融けなければ雪のままで、真冬の日本海側の地方の雪雲による降水は、しゅう雪となる。

アラレとは、雲の中を落下中に雪の結晶などに過冷却水滴など通りつき、円い柔らか氷の粒として降つてくる。雹とアラレも同じ分類で直径が5ミリ以上が雹、未満がアラレと分けられます。アラレも水アラレもあれば雪の結晶をグルグルまきに巻きつけて落ちてくる雪アラレもあります。

+++++

言葉からくる響きと違うのが「凍雨(とうう)」と「冰雨(ひさめ)」です。水雨は雹やアラレの古い呼称で、冬季に降る霰に近い冷たい雨も水雨と呼ぶようになつたのです。凍雨は過冷却の雨粒が急に凍結して円い氷の粒となつて降るもので、雪とも雹とも違います。人工の降雪に変わりはありません。

スキーめ

◆ 空はなぜ青く、

夕焼けはなぜ赤い

スペースシャトルから見た空は、真っ暗で太陽だけが丸く白く輝いています。一方、大気の底に住む私たちから見た空は青く、夕焼けは赤いのは、なぜだろう？

太陽の光を3角形のプリズムで光を分けてみると白色透明だった光が、紫から藍、青、緑、黄色、橙、赤と7色の色の筋に分かれます。光は電波と同じ波であり、太陽の表面の温度が6千度なので光は、最も強い光の青と緑の境付近の○・5ミクロン附近を中心には広がっています。逆に赤、緑、青の赤色まで広がっている。逆に赤、緑、青の光の3原色を全部重ねると透明な光となってしまいます。

この色によって波長が違うところにカギが隠されています。太陽の7色の光が大気中飛び込んでくると空気中の酸素や窒素分子に衝突して散乱されます。そのとき波長の短い青い光のほうが、波長の長い赤色より9倍も強く散乱され、散らばった青の光が人の目に多くはいってくるからです。紫は青よりもさらに散乱しやすいのですが、上空で散乱されてしまい地上に届きにくいのです。また青の光のエネルギーが強いので地上から見た「空は青い」のです。

高さ8886mのエベレストの山頂で

は空気が3分の1の薄さなので、空気による散乱そのものが小さくなり、散乱された青色は地上で見るより薄い青色となり、地上では見られない紫色の散乱された光が増える。頂上から見上げた空は、真昼でも「なぜか暗く青色に見えた」とか「紫がかった青空」と語られています。

真空の宇宙は光が散乱しないので暗闇となり、太陽は丸い白い玉の輝きとしか見えません。初めて宇宙を飛んだガガーリン飛行士が、「地球は青かった」と叫び声をあげましたが、暗闇の中に浮ぶ地球は、薄皮のように大気の衣が取り巻き青く美しい輝いています。その地平線に広がる大気の層の上端をよく見ると紫色となつてゐることがわかります。

地球上では、太陽が西の空に傾くと途中の空気を通る道のりが長く、空気のチリなどで青い色の系統が散乱して消えて人の目に届かず、波長の最も長い赤色や橙色だけが最後に残って、人の目には赤い光だけが届き、夕焼けとなります。

燃えるような夕焼けが台風の襲来の前に見ることができます。日本の南海上を北上してくる台風の頂きから吹き出した数ミクロンサイズの無数の雪の結晶からできた薄い雲が広がり、燃えるように赤く輝く夕焼けになるのです。南よりの風で中心から1000kmも離れたところまで広がることがあり、台風の接近を知らせてくれるのです。

さらに火山の大噴火のあとに赤といいうより赤紫色の夕焼けがすることがあります。メキシコのエルチヨン火山の大噴火で成層圏の高さ30kmのすぐ下まで噴き上げられた数ミクロン程度の小さな火山灰やエアゾルと呼ばれる粒子が無数に浮遊して、太陽の光線を散乱させたために異常に赤紫色に強調され夕焼けが見られます。虹やプロッケン現象などとともに、無色透明な太陽光線が、散乱や屈折などで色のついた光や光の帯に分かれて自然をカラフルにしてくれているのです。まさに太陽からの光の贈り物なのです。

+++++

スペースシャトル・・・高さおよそ200kmで地球を回る飛行機のような形をした人工衛星。何度も地球を往復することができます。日本人初の宇宙飛行士として毛利さんが乗つて地球をまわりました。高度が低いところを回つてるので、地球の姿がよく見えます。

◆虹の不思議

虹はなぜ7色の色の環なのだろうか？色の順序はなぜ同じ順番にならぶのか？虹の環は何本だろうか？どうして雨上がりに太陽を背にして向こう側にしか見ることができないのか？虹の環をなぜくぐり抜けて向こう側にいくことができないのだろうか？

虹とは、無数の雨粒が浮ぶスクリーンに当たって屈折して戻ってきてできる7色の虹の色の輪のことです。もどつくる光線、ちょうど虹を見る人の目にはいる部分が円となるのです。背中の太陽と、人の目が、前へ進めば向こうに退き、下がればついてきます。観測者が前に進めば虹も遠ざかり、地上で見れば半分くらいしか見えない虹を、山で見れば半円をこえる虹を見ることができます。もちろん飛行機でも虹の環をくぐり抜けることはできないのです。

水滴のサイズは $0 \cdot 05 \text{ mm}$ から $0 \cdot 5 \text{ mm}$ くらいなので、水滴の中に太陽の光が屈折しながら入ることができます。入った光線は、水の屈折率が $1 \cdot 33$ なので、透明な太陽光線が水滴にあたり水滴の内側でもう1度反射して外に出ますが、この2回の屈折で出入りするので、それぞれで波長が違う7色の光

注1）の曲げられ方

が違うので、色の帯として分かれていで虹になります。太陽を背にして前に見える虹の輪の半径が40度の角度(紫)から42度(赤)の角度と、7色で虹の光の帯に分かれます。

虹は何本見えるのだろうか？答へは4

本です。水滴のなかの内壁で2回反射した時は、虹が2本目の環になつて見えます。2回も反射するので二次虹の色は薄く、色の並びの順番は外側が紫となり逆となります。主虹に対して「副虹」とも呼ばれ、

虹の半径が51度の環で主虹の外側であります。虹は2本ということになります。さらに太陽の光が水面からの反射したときのも、向こう側に虹ができますので原理的には、虹は最大4本がみえる可能性があります。しかし実際は、副虹は色が薄いの

で、空気が澄んでいるところでも最大3本まででしょ。光は弱いのですが、街の光がない暗いくらい空に月の虹が出ることも観測されています。月の光は太陽の反射なので、同じ虹となります。

+++++

また大きな雨粒で虹ができるのは、落下速度が1秒イズを越えた雨粒の落下速度が数mとなり、落下速度が大きくなると丸から次第にお供え餅のように変形しますので虹ができることになるからです。

さてプリズムで分けた虹は七色に綺麗に色の帯として分かれていますが、世界では虹を何色と見てているのでしょうか？米

国や英国では6色、メキシコで5色、アフリカでは2~3色としか見ていないといわれています。湿度や空気の透明さなどの違いもあり、日本では7色と信じられていますが、7色全部を見ることができるでしょうか？

◆ ブロッケンの妖怪

山の頂上や稜線上で太陽を背にして目の前に広がる雲海に自分の影法師とそれを取り囲むように小さな虹のような環が写り、自分が動けばそれにつれて影法師と虹の環がいっしょに不気味に動くとい不思議な姿が現れます。気象用語では「グローリー」と呼ばれているもので、自分を中心、背に太陽光線、自分、向こう側に霧や雲のスクリーンが適度な具合に配置されていることが必要で、見ることができたら、まさに幸運です。

ドイツのブロッケン山でよく見られるというので、その名をとつて「ブロッケンの妖怪」と呼ばれています。このブロッケン山には若きゲーテがしばしば訪れ、「アウスト」にも登場し彼の思想、色彩論にも強く影響を与えたといわれています。日本では、阿弥陀様の仏に後光の環を「御来迎」という言葉をあてて崇めていました。雲の中に自分の影法師が映り虹の環が取り巻く姿に重ねて、「來光」という言葉を使うようになりました。

このブロッケン現象とは、虹ができるような光の屈折ではなく、波である光が物に当たるとその向こう側にまわる込み性質があります（注1）。波長が長い赤色の光ほど大きく迂回して回りこむよう、色による波長の違いが虹と同じ様に反映する

のです。空中に無数の霧ツブが浮いているとは色の順番が逆となっているのが特徴で、ブロッケンの妖怪が現らわれるは、雲粒が小さいほど輪は大きくなり、微水滴のツブが揃うほど鮮明となります。

また十数ミクロンサイズの無数の水滴が浮かぶ高層雲を通してぼんやりした月の外側に虹の環がで、色の順番は虹とは逆に内側が紫で外側が赤となり虹の輪の直径も小さい。無数の微水滴による回折現象が原因で一般にはグローリー、光環と呼ばれているものです。また太陽にかかる彩雲

という美しい彩りもできます。空に高績雲が浮んでいるときに、その雲の縁が美しく色づいて見える。水滴の雲粒による回折現象でおこるもので、昔は慶雲とか端（すい）雲とか呼ばれ、めでたいことのある前兆とあがめられていました。

芭蕉が「奥の細道」の旅で霊場の羽黒三山を訪れたときに、同行した弟子の曾良が「天氣吉。登山三里。略。申の上苑。午後三時半頃、月山三至。先、御室（頂上）ヲ拝シテ、角兵衛小ヤニ至ル。雲晴テ來光ナシ、タニハ東ニ旦（アシタ）ニハ西ニ有由也。甚はなはだ）勞ル」。角川文庫、おくの細道）書いた隨行日記のなかにこのブロッケン現象を見たいと書かれています。午後三時半頃に月山頂上に登ったが、天気がよくては見えなかつた。御来光は太陽が西に傾くので東に見え、朝には太陽が東に昇るので西にでる」と正確な知識をもつており、「粟光」を見れずに残念がつていた（注2）。

この時代、靈山として槍ヶ岳を開山した

播隆上人の記録にも「來光が書かれていました。槍ヶ岳は天に槍の穂先がつきだしているような鋭峰で、東西に雲がでやすいので、ブロッケンの妖怪を見るのに条件がとてもよい高山なのです。現代では、ブロッケンの妖怪を簡単に見るのは飛行機に乗ればよいのです。眼下に広がる真っ白な雲海の雲の絨毯の上に写る機影と、その回りに虹のようなカラーのしばしば見ることができます。

+++++

注1）芭蕉が「奥の細道」を旅したとき、弟子の曾良

の隨行日記のなかに旅の折々の情景や日程、天気などが詳しく述べられています。

「・天氣吉。登山三里。略。申の上苑。午後三時半頃、月山三至。先、御室（頂上）ヲ拝シテ、角兵衛小ヤニ至ル。雲晴テ來光ナシ、タニハ東ニ旦（アシタ）ニハ西ニ有由也。甚はなはだ）勞ル」。角川文庫、おくの細道）

◆ 緑の太陽 グリーンフラッシュ

笑み、見えたら幸運、写真を撮ることは神ワザに近い。

眞実の愛に目覚め、そして嫉妬に悩まされているのではなかろうか。

夕暮れの海辺を散歩していた老人がふと海を見ると黄色がかったオレンジ色のいびつな太陽がまさに水平線上に沈みつつありました。目を細めた次の瞬間、上の縁の三分の一くらいが緑に輝いた。錯覚かなと目をこらすと間もなく緑の太陽の姿が消え、もとの静寂な浜辺に戻ってしまいました。老人が見た緑の太陽は錯覚ではない。日の出や日没の時に水平線上にある太陽が一瞬、長くとも一秒のあいだ緑色に輝く緑閃光、グリーンフラッシュと呼ばれているものです。

沈みつつある太陽はすでに沈んでいる。

沈まずに見えているのは空気のレンズで弓なりに曲げられた赤味がかった光が目に届いて、あたかも水平線の上に朱色の太陽が浮いて見えからである。青は散乱して届かず、赤より緑の光の波長が短く曲がりやすいので、日没の最後の一瞬に緑色が残つて輝くグリーンフラッシュとなるのです。

波長の短い順でいえば、紫から藍、青、緑、黃色、橙、赤と七色なので、紫は地球のかなり上空で消え、青は散乱し、黃色に近い太陽のときにグリーンフラッシュがみえやすいのである。冷い海を西に望む海岸線で見ることが出来るが、澄んだ空気のきわめて条件のよい状態でのみ女神が微

にグリーンフラッシュ伝説が生まれました。初めてこの現象を見る機会に恵まれたとき、網膜に落ちるその光は人が想像するような深紅の光ではない。それは緑の光です。最も不思議な緑で、どんな芸術家もまだかつてパレットにのせたことのない緑、多彩な色合いの草木でも、どんな澄み切った海の陰影でも決して表すことの出来ない緑である！もし天上に緑があれば、それはこの陰影、まさに希望の緑でしかあり得ない」と神秘感に包まれた「緑の光」を絶賛したのです（注1）。

海を西に望むカリフオルニアの西海岸で現われ、日本では北海道の知床や西海岸が期待でき、能登半島あたりが穴場かもしれない。緯度の高いほど、太陽が斜めでゆっくり沈むので時間も長く、空気が澄んでいることも加わってグリーンフラッシュを見る機会が多い。南極や北極ではさらに条件がよい。ただし寒さに耐えなければならぬのが・・・。

グリーンフラッシュを見ると、眞実の愛に目覚める』との古い言い伝えがある。そうだが、一方でまたグリーンはシェイクスピアの悲劇の中で『縁の目をした嫉妬』『嫉妬とは緑色をした怪物』というように嫉妬の色として描かれています。緑色の目のようなグリーンフラッシュを見た恋人たちは

+++++

注1) 緑の光
注2) 太陽からの贈り物 小口高ほか訳）。

◆蜃氣樓、

冬から春そして初夏へ向かう季節は光の屈折が演出する気象の不思議な姿を見せてくれます。真冬のオホーツクの海には日の出の太陽が4角形や6角形、時にはワイングラスの姿に変形する姿を見ることができます。一面の流水野の冷たい海で、水平線近い空気が冷やされ、気温の逆転している層ができます。水平線に昇った朱色の丸い太陽を、その逆転層が上半分をカットしてしまい下半円の太陽となり、水平線を照らして尾をひく光と合わせた姿がワイングラスの形となるのです。冷たい海に接する密度の濃い空気が、レンズの役目をして、日の出の太陽が縦にグーンと引き延ばされてできます。4角の形をした太陽となるのです。

3月になるとオホーツクの海から流水が次第に視界から去り、海明けの季節となります。しかし、水平線に消えたはずの流水が幻のごとく水平線に浮かぶ「幻水」現象が起ります。海明けを迎えたばかりオホーツク海は、まだ冬の低温が残り、早春になつて流れ込んできた暖かな空気を冷すことで下層に密度の大きい空気レンズをつくります。このレンズが光を下の方向へ曲げて、沖に去つた流水を幻のごとく水平線に浮かばせることになる、海上蜃氣樓が、幻の流水を水平線の上に浮ばせていました。

富山湾上にできる蜃氣樓も幻水と同じ原理で起きています。北アルプスの山々から流れ下る黒部川や神通川の雪解け水が、淡水なので海水より軽く、冷たい薄い層となつて富山湾を広く覆い、春や初夏の暖かい空気を冷して空気のレンズを作り、魚津側ほどよい距離にある対岸の街が、瀑布、城壁、大名行列、ビル街、万里の長城と変幻自在に様々な姿となって浮かびあがらせます。4月下旬から6月上旬の風のない日中が蜃氣炎が立つような晴れ渡つた日中が蜃氣楼発生の好条件となります。

逆に、砂漠や道路に水が見える地面付近

が熱せられて密度が薄くなり、今度は光が逆に曲げられて、「逃げ水」のように地面の中に遠くの幻が見える沈下蜃氣樓、下位蜃氣樓と呼ばれるものとなります。砂漠では幻のオアシスが見え旅人をミスリードしてしまい「魔の湖」といっておそれられています。

日本における蜃氣樓は、古くは大蛤（まぐり）が吐く気によって空中に桜台などが現らわれると考えていた。蜃樓、貝塚、空中樓閣とも呼ばれ、「海市（かいし）」も

蜃氣樓の別名であり、信州の諏訪湖でも蜃氣樓の記事が『吾妻鏡』に見られます。

なんぞして、海中の水晶宮に住む妖精ファタ・モルガナの仕業とされています。古くはピラミッド文明やナスカの文明にも蜃氣樓の記録が残されています。昭和基地で海水の向こうに氷山の蜃氣樓がテーブル状に白い崖のように浮び、ある時は白い浮き島のごとく空中に浮び、逆転層を境に鏡で写したように対称な白い氷山も空中に浮き、太陽の高度があがるとともにその姿が変わりながら消えていきました。密度の違いからできる空気レンズのなせるワザです。

+++++

日本における蜃氣樓は、古くは大蛤（まぐり）が吐く気によって空中に桜台などが現らわれると考えていた。蜃樓、貝塚、空中樓閣とも呼ばれ、「海市（かいし）」も蜃氣樓の別名であり、信州の諏訪湖でも蜃氣樓の記事が『吾妻鏡』に見られます。

目を世界に転じて地中海の蜃氣樓で有名なのがファタ・モルガナです。イタリア半島とシチリア島に挟まれたメッシナ海峡に複雑な蜃氣樓が現らわれ、対岸に絶壁や家々がそびえたり、城郭となり水中に沈

日本で見えたスーパーオーロラ

ど大電力が必要で、オーロラ発電機」で発生してまかなっています（注1）。

中緯度の日本では、ふつうオーロラは見えませんが、スーパー・オーロラ（注2）のときには環が大きく広がり南下するので、活発化したオーロラの上空の赤い部分を見ることがあります。

1889年10月に日本列島としては3

星が無数に散りばめられた暗闇の天空のかなたで彩られた光の爆発が、緑を帶びた青白い光の帶が矢のごとく降り注ぎ、輝きを増しながら次第に絹の光沢のような滑らかカーテン状となつてゆらめきフリルがピンクに輝く。ひときわ輝く光の筋が波打つて走る。ある時は南十字星を覆い隠すように輝きを増し、水平線のすぐ上に暗い炎のような紅い光の帶となつて動きを止め、ある時は渦巻の底を見せ、天空から四方に降るように注ぐコロナ型の華麗な姿で極夜を彩るオーロラの姿です。

うオーロラをもし「一人で見たら、不気味な静寂さに気が狂わんばかりの恐怖におそわれるでしょう。極地の静寂な世界のなかに音もなく輝き不気味さが漂い、古人は「天空の裂け目からの噴き出す天の炎」、「天国に行く死靈の足元を照らすたいまつの火」と恐れました。

オーロラとは、地球の磁石による、北極のN極から南極のS極に伸びる磁場に、太陽から太陽風という電気の粒が衝突したときのできる真空放電の発光現象です。原理はネオンサインと同じ、上空百から数百kmの高さまで広がる光の帯という超大型のネオンなのです。この放電に必要な電力は、日本全体の電力をまかなえるほ

0月には観測史上最大級の爆発が起きて、人工衛星の機能にも影響を及ぼすほどのスーパー・オーロラのすごいものが発生し、赤いオーロラが、14年ぶりに稚内から信州まで見えました。古来、日本では「紅気」と呼ばれ（注3）、天変地異の悪い兆しと怖れられていました。

宇宙からみれば、緯度70度を中心に鉢

このオーロラベルトは、北半球ではアラスカをした格好のオーロラの環が見えます。

力からスカンジナビヤ半島をめぐり、南半球では昭和基地付近を通っている。そして季節は春分、秋分を中心とした1、2カ月が見事なオーロラの出やすいシーズンと

なります。そのオーロラベルトのもつともいい位置にあるのが南極昭和基地です。

神秘のオーロラもいまや宇宙に浮かぶ

スペリスシャトルから眼下に眺めるこ

がて、また、南極時計基盤と北極圏からの高感度

ライブで茶の間で見られる時代となりました。30数年前の昭和基地ではオーロラ

（上）モーラ発電機

太陽の表面から飛び出してくる太陽風、と呼ばれるプラズマ電気が、北極がN、南極がSの大きな地球磁石の磁力線を横切るときに電気が発生する発電機が「オーロラ発電機」なのです。

発生する電力はふうのオーダーでも100万キロワット原発の千基分に相当し、時には日本全体の電力をまかなえるほどの膨大なものとなり、この大電力をまかなえるのです。

注2) 高さ1000kmまでひろがるような超怒急野オーロラで、10年に1回か2回くらいしか発生シナほど、すごいオーロラ。

藤原定家の漢文日記の「名月記」、注3)に1
204年 兖赤氣相交・・・」注2)