

光の恵み

稲 岡 恭 二

奨励者紹介[いなおか・きょうじ]

同志社大学教務部長

同志社大学理工学部教授

[研究テーマ]熱と流れの動的制御、熱交換器の高性能化

イエスは言われた。「光は、いましばらく、あなたがたの間にある。暗闇に追いつかれないように、光のあるうちに歩きなさい。暗闇の中を歩く者は、自分がどこへ行くのか分らない。光の子となるために、光のあるうちに、光を信じなさい。」

(ヨハネによる福音書 12章35—36節a)

楽しみにしていること

理工学部の稲岡です。4月から教務部長をしていますが、本日は、このスライドにありますように、「光の恵み」というタイトルで、主に理工学的な視点からお話をさせていただきます。このような場でお話する機会は多くありませんので、とても緊張していますが、どうぞよろしくお願いします。

私は普段、京田辺キャンパスの有徳館東館という建物の4階にいます。研究の居室がそこにあるわけですが、机に向かう一方で、密かに楽しみにしていることがあります。それがこれです。

お分かりと思いますが、虹の写真です。部屋の窓から見つけますと、建物の屋上に急いで登って観察し、このように写真に収めています。

私の部屋からですと、朝の虹は方向的に見えません。でも、午後3時頃からは、雨上がりで太陽の光が届く時など、条件さえ合えば見つけることができます。

と言いますのも、虹は太陽を背にして、42度の角度。太陽の光が水滴に当たって分光し、私たちの目に届きますが、物理学的に決まった角度をもっています。ちょうど窓枠からの角度がそのようになっています。皆さん、雨上がりの時などには、太陽を背にして42度、少し上のほうを見上げるとよいと思います。スライドの写真では、主虹の外側にもう一つの虹が見えますが、これを副虹と言います。これは水滴の中で光が2回ほど反射してできるもので、これも角度が決まっています、確か51度だったと思います。

それから、この写真は日暈（ひがさ）と呼ばれる虹色です。これも楽しみにしています。ここに太陽がありますが、太陽の周りにグルッとできる虹色の輪っかです。これは水滴ではなくて、上空の六角形の氷の結晶に屈折・反射してできるもので、多い時には週に4回くらい見つけることができます。見つけた時には少し得した気分になって、こうして写真を撮ります。この写真では、下に環水平アークと呼ばれる虹色も見えています。

滑落事故

今でこそ、こうして楽しく空を見上げていますが、実は7年ほど前に、崖から滑落して大けがをしました。

辛い頭は打たなかったのですが、左肘の関節を岩で強く打って、粉碎骨折しました。頭を打っていたら即死だったと思います。1回目の手術は、全身麻酔で7時間ほどかかりました。残った骨をお医者さんに一つひとつ拾ってもらい、それらを束ねてもらいました。しかしその後、9カ月ほど骨はくっつきませんでした。左肘はこのぐらい、45度ぐらいしか曲がらない状態でした。もちろん手は顔に全く届かない状態です。ないないづくして精神的にまいってしまい、完全に下を向く生活をしていました。これまで当たり前だったことができない。できなくなった。「できない」という言葉を家の中でも平気で口にしていましたし、毎日がとても辛くて、自分でも始末に負えませんでした。腕の重さは人によっても違いますが、3kgから5kgあるんですね。動かない、重たいものがここにあるわけです。幸いにして右手が動きますので、今は講義を何とかやっている次第ですが、当時は動かない体のまま、自分だけが取り残されたように思えて、不安で仕方がありませんでした。その後、あることで立ち直り、懸命に努力して、ある程度身体を治しましたが、今でも左肘は痛いですし、眠る時はこうして痛みの少ない場所を探して置いて眠ります。この痛みは一生消えることはないと思っていますし、死ぬ時になってようやく解放されるかと、その時を楽しみにしています。左手は回転ができないので、教科書は持てますが開けないので、講義の時も実は大変に不自由をしています。

青色が教えてくれた「残りもの」

その立ち直るきっかけを与えてくれたのが、この青い鳥、カワセミでした。2回目の手術の前に、家内に体力をつけるように言われて、あてもなかったのですが、公園に散歩に出かけ、その池で偶然に出会いました。そして、私はこの「青い光」に一瞬で魅了されました。それ以来、このカワセミに会うことを楽しみに、毎日散歩して、観察するようになりました。

このカワセミは、実は右足をけがして曲がっていました。でも、一生懸命に魚を狙っては、ダイビングしていました。彼らは魚を食べて生きているのです。その姿は、けがをした自分と重なりました。

突然ですが、なぜカワセミの羽が青色に見えるのか、分かりますでしょうか。知っている人もいますが、それはカワセミに太陽光が当たりますと、まず、羽根が青色以外の成分を吸収します。そして、青色成分が反射して、私たちの目に届くからです。当然のことですが、もし太陽の光がない夜であれば、せっかくの青色も見えません。

こんなふうになると、青い羽根の部分で、どの色が吸収されているのかが分かります。それはオレンジ色です。ポジとネガの関係で、青色の反対はオレンジ色。この関係を補色の関係と言います。このオレンジ色が吸収されているのです。要するに私たちは、光が物体を照らして、その物体に吸収・透過されて残った「残りもの」の光を、瞳の奥の中の細胞で感じ、脳で判別して見ている、というわけです。もし、カワセミに太陽光ではなくてオレンジの光を当てたならば、反射する青い光の成分がありませんから、すべてを吸収して、カワセミもカラスのように真っ黒に見えてしまいます。

カワセミの青い光はいわば「残りもの」で、「残りものには福がある」、と言いますと本来の意味から外れるかもしれませんが、取り残された感じのあった私は直感的にそう思いました。そして、カワセミと出会ったおかげで、あらためて光の性質に心の底から感動し、また、私も「残った自分でも」なんとかなるか、と考えるようになりました。人は何かを失って何かを得る、と聞いたことがありますが、けがをしなければあの公園を歩くこともなく、この綺麗な青色に巡り会うことはなかったかと思うと、なんだか不思議な感じがし

ました。このカワセミの青い光は、違う視点をあらためて私に教えてくれ、「命の恩人」のような存在になりました。

ちなみに、カワセミの羽根は、このような色合いです。鏡の上に置いていますので、ここには裏面が見えています。おもて面のここが青く、裏から見ますと、オレンジ色になっています。これは互いに補色の関係です。

羽根の内部構造は、拡大しますとこうなっていて、枝と穴の微細な構造からできています。それで、光が入ると膜干渉を起こして、干渉条件に合う青色の光を強く反射します。このような構造から生まれる色を「構造色」と言うのですが、構造が保たれている限り、色が変わりませんし、色あせもしません。もし、その構造を科学的に作る事ができれば、魅力的な発色材料の開発ができます。

青い光と言いますと、私たちが見ている空も青いです。太陽から地球に届いた光のうち、波長の短い青色の成分が大気圏の小さな分子で散乱します。これを「レイリー散乱」と言いますが、私たちの空を青く、そして広くしてくれているのはこの光の散乱のおかげです。この作用がなければ、真っ暗な天体に、太陽がぼかんと浮かんで見えるはずで、空に見える小さな太陽だけではなくて、空いっぱい青く、明るくしてくれている。これは光の散乱のおかげです。この青色も、下を向いていた私の視線を上上げるきっかけになりました。私はこうして、見える光の「残りものには福がある」の性質を転機に、「ない」「できない」と言っていた生活をやめて、「残ったもの」「私に残されたもの」で何ができるのだろうか、空を見上げて考えるようになりました。こうして虹を楽しむに至ったわけです。

目に見える光。これが残りもの、すべて残りものを見ている、ということですが、裏を返せば、すべてのものは、それぞれに光を吸収・透過しては反射しているということです。周りを見ますと、実にいろいろな光があります。すべての物が活動しているかのように思えてきます。そう考えますと、命のない物体であっても、なんだか愛おしく思えてきますが、皆さんはいかがでしょう。それを与えてくれる光のもとである、太陽に感謝。そのような性質をもっている光と物体に感謝したいと思います。

見えない光が私たちを支えている

ここまで目に見える光についてお話ししましたが、人間の目には見えない光があります。それはもう光とは呼ばないのかもしれませんが、紫外線や赤外線、マイクロ波などなど、物理の世界ではそれらをひっくるめて、「電磁波」と呼びます。先ほどの見える光の反射と同じように、目には見えないけれども、吸収・透過・反射する性質をもっています。残念ながら全く目には見えませんが、これが後でお話しするように、大切な役割をしています。

私の専門は伝熱工学という分野です。この分野では、熱の伝わり方を学問の対象としていて、その工学的な応用を考える分野になります。伝熱というのは、主に三つあります。温度差のある物体の中で熱が移動する熱伝導。空気や水などの流れでもって熱が移動する対流熱伝達。物体から放出する電磁波で熱移動する放射伝熱の三つです。製品で代表的なものは、エアコン、ラジエータなどの熱交換器、パソコンなどの電子機器の放熱問題などです。そして、研究では多くの場合、物体表面の温度や空気、水などの流れが対象になりますが、いずれも目には見えないものです。目には見えない空気や水の流れを目に見える形にして、計測し理解しています。たとえば、私の研究分野では、ある面を加熱したり冷却する際に、どの

ような流れを作ればよいのか、特に見えない水や空気の流れの速度を測って、どんな流れが生まれているのかを知ることが多くあります。

そのために、たとえば、注目する水の流れの中に小さな粒子を混ぜて、レーザー光で照らして、その反射光を使ってデータを処理します。このように照らして、時間が経ったもう1枚の画像を撮影します。そして、二つの画像の光のつぶつぶを線で引いて、撮影の時間間隔で割れば、いろいろな場所の速度が同時に分かるというわけです。こういったレーザーを利用した可視化方法は、今は強力な研究ツールですが、これは見えない部分を、光の助けを借りながら測定しています。ちなみにこの流れ場の全容は、こんなふうになっています。研究においては、すぐには見せてくれない自然の営みを、光の助けを借りてその一部を見せてもらっているということで、「光の恵み」を大いに利用しながら、研究をしていることになります。

それから、このような映像を見たことがあると思います。これは最近では空港などでも活躍していますが、人の顔などの表面温度を測るカメラ映像です。サーモグラフィーと呼んでいます。私の研究室でも測定に使っています。サーモグラフィーでは、物体の表面から放出される電磁波のエネルギーを検知することができます。そのエネルギーを分かりやすく色分布にして表示しているわけです。ここで、目に見えない光、電磁波のエネルギーについて、あらためて考えてみます。

ちょっと不思議かもしれませんが、物体は絶対温度が0でない限り、温度の4乗に比例したエネルギーを電磁波の形で常に放出しています。伝熱工学では、これを「ステファン・ボルツマンの法則」と呼んでいます。このように物体を取り囲んだ空間すべての方向に、物体はエネルギーを放出しています。高温の物体だけでなく、ありとあらゆるものからエネルギーは出ています。もちろん、皆さんからもエネルギーは出ています。常温の環境では目には見えませんが、概ね赤外線というエネルギーを放出しています。先ほどのサーモグラフィーは、その赤外線エネルギーを特別な素子で検知しているというわけです。

伝熱工学の視点から、私たち人間のエネルギー収支について考えてみようと思います。最も簡単な仮定で、原始人間がいるとします。人間の体温は36度前後で、これを表面温度として、人間の表面積を1.6平方メートルとします。先ほどの「ステファン・ボルツマンの法則」を適用しますと、1秒間に830ワットものエネルギーを放出している計算になります。これを1日のカロリーという単位に直しますと約1万7000キロカロリーになります。放出しているので、「マイナス」と考えます。

人が食事をして摂取する量は、人によっても違いますが、1日におよそ2500キロカロリーとしましょう。そうしますと、私たちは、実は食事のだいたい7倍のエネルギーを体の表面から失っていることになります。

食事を取ったところで、このままではエネルギー切れになります。エネルギーバランスを考えると、食事の6倍ものエネルギーを、どこからかもらわないと生きていけないのですが、それをどこからもらうかというと、実は周囲からもらっている、というわけです。

具体的には、私たちを取り囲む空間のすべてから、大きなエネルギーをもらっています。周りを見渡しますと、壁、天井、机、床、それに人、見えますよね。目で見えるすべてのものから、私たちの方向にエネルギーが届いているというわけです。そこで、周囲の温度を15度から20度程度と見なして計算しますと、人体に届くエネルギーは約1万4000キロカロリーと出てきまして、エネルギーバランスの収支が合います。人は物体に比べて体温も高いですから、人からはより多くのエネルギーをもらっていますし、自分も同じように他者に与えている、ということになります。体からエネルギーが出る、などと言いますと、なにやら不思議

議な感覚になるかと思いますが、そうではありません。私たちは自分だけで生きているつもりになっていますが、目に見えない光が照らしてくれているおかげである、と科学的にそのような解釈になります。そして、その残り分を食事で補っているということで、これが私たちのエネルギー事情である、ということになります。もし仮に、この場所が真っ暗な宇宙空間であれば、周りに何もないわけですから、今食べている量の7倍の食事をしないと、私たちはエネルギー切れになってしまいます。

サーモビューアで空の温度を測ると、今の時期、晴れた夜空ですと、マイナス 50 度程度の表示が出ます。今の天空の温度はだいたいそれぐらいです。天空からも当然、人間に対して放射がありますが、それを計算すると1秒間に225ワット、1日で4500キロカロリー。食事を満足にとっても約7000キロカロリーしかプラスになりません。依然として1万キロカロリーもの大きなマイナスに陥ります。なので、たとえば登山をする人は、雪山で遭難した時、雪洞を掘り、できるだけ物の陰に隠れて過ごします。夜空を見ながら夜を越すことは大変に危険なのです。雪洞ならば周囲の温度は0度になりますが、そこからもらうエネルギーを計算すると505ワット、これは1日で約1万500キロカロリー。食事と合わせて1万3000キロカロリー。なので1日4000キロカロリーのマイナス。まだ不足なのですが、その不足量は随分と小さくなります。

リスなど、冬眠する動物がいますが、多くは穴を掘って中に入り、周囲に囲まれる環境を自分で整えます。その上で、穴の中で体温を30度も下げて、ですからだいたい5度前後にして、エネルギーの放出を押さえて越冬します。夏から冬にかけて、周りからもらうエネルギー量が減ってきますが、彼らの目には、それがしっかりと見えているのかもしれませんが。とにかく、私たちは多くのエネルギーを周りからもらって生きている、このことから、私たちは生かされている、と言ってもよいのかもしれませんが。この視点に気がつけば、人はもちろん、ありとあらゆる物に対して自然に謙虚になるように思います。エネルギーの不足した残りの部分を食事で補うわけですが、多くの人と感謝しながら食事を楽しむことができたとすれば、それこそ「残りものには大きな福がある」に変わることになると思います。それから、もちろん、いただいている食事も、周りの動植物の犠牲の上に成り立っていることを忘れてはならないと思います。

見える光と見えない光の恵み

残された時間が少なくなってきましたので、本日のお話のまとめをします。けがをした後の私は、この動かない体と一緒に、取り残された気持ちでありました。でも、今は残った時間を上手く使っていきたいと思っていますし、下を向いていた時に支えてくれた家族、周りの方々に恩返しをしたい、と思っています。

見える光は、私に「残りものには福があること」をあらためて教えてくれました。考えてみますと、人は必ずいつか死にます。これを「残りもの」と関連づけてみますと、生まれた瞬間から残りの人生を生きている、と考えることもできます。残りの人生に何が残っているのか、これは誰にも分かりません。大学の研究と同じように、分からないから探求して、見えるようにしていくことなのかと思います。見える光が教えてくれたように、きっと残りの人生に福があると思いますし、そのうち新しいものが見えてくるのだろう。これが、私が見える光から考えたことです。

それから、見えない光についても考えてみました。生きていく中で、周りからエネルギーをもらっている、自分も与えていると考えれば、人生の行き先が見えなくても不思議と不安にはなりません。残された時間

が多いのか少ないのかも分かりませんが、こんなふうに考えることができる大学という環境にいる、それをじっくりと追うことができる職場にいる、ということに今は幸せを感じています。

たわいもない話でしたが、何かの参考になりましたら幸いです。それからカワセミは、鴨川や京田辺キャンパスの周りの川にもいます。水面すれすれを飛んでいきます。その鳴き声は自転車のブレーキのような音です。また見つけてみてください。

2017年1月11日 今出川水曜チャペル・アワー「奨励」記録

<HPでは写真等を省略しております。詳細は冊子体の『チャペル・アワー奨励集300号』をご覧ください。>