

とができ、現在のC言語の機能に似ている。(当時のC言語は極めて原始的であった)。実際、当時、野辺山の45m電波望遠鏡はPLIで制御システムがコーディングされていた。早速、PLIを勉強して、自動検出のソフト開発を始めた。自動検出ソフトは「Kwasan Automatic Image Detection System」(KAIDS)と名付けた。

古い資料を積み上げたダンボール箱の中から当時の資料を探した所、研究会集録の原稿とスライドが出てきた。もちろんデジカメの無い時代なので、写真やスライドの形でしか画像は残っていない。写真は随分前に捨てたように記憶している。ここに写真を載せることができないのは残念だが、当時のスライドを見ても、見事にスペクトル画像が自動検出されていることがわかる。ソフトの汎用性を重視したため、 $H\alpha$ 輝線星、QSO、M型星、炭素星などの検出に成功している。現在でもハッブル望遠鏡とスリットレス分光器で取られた画像上で、天体の自動検出にも応用可能かもしれない。残念ながらソフトを今から解読するのも大変だ。実際、東京大学の木曾観測所に勤務していた頃、銀河の自動検出に応用しようとして、ソフトを探し出し、シリコングラフィック社のパソコン、その後Linuxパソコン用にC言語で作って替えて移植しようとしたがうまく行かなかった。銀河や星の自動検出ソフトとして今ではSEXtractorが公開され、世界の標準ソフトとなっている。スリットレスのスペクトル画像の自動検出ソフトについては公開されているものはまだない。ハッブル望遠鏡はもちろん、日本の赤外線天文衛星のAKARIや計画されているSPICA衛星にはスリットレス分光器が搭載されている。実際にhigh-zにある $H\alpha$ 輝線天体の検出も重要なテーマとなっている。KAIDSが完成してまもなく、一橋大学に就職が決まって花山天文台を離れたので、サイエンス成果が論文1編で終えてしまったが、今でも使えるソフトであろう。

地球環境天文学のすすめ

海野 和三郎

東京大学名誉教授

今、世界は地球温暖化やエネルギー問題などで騒いでいるが、大問題であることは分かっているが、問題の本質を正確に理解し、人類の危機を乗り越える道を示している人は殆ど居ない。実は、今から50~60年前になるだろうか、宮本正太郎先生が花山で惑星天文学をスタートさせ、飛騨天文台に当時としては大口径の惑星観測用の望遠鏡を造ったのが発端となった。コロナの100万度や惑星状星雲の理論研究で知られた宮本先生が、何故、惑星観測に力を入れたか理解できなかったが、当時、湯川さんの中間子理論にあこがれて京大に集まった俊秀が、入試なしで内申入学となって(昭和19年)、宇宙物理に雪崩れ込んだのを上手く教育したのが宮本研究室であった。その一人が、私と松本高等学校同期の川口市郎君である。その一年先輩に、松島訓さんが居た。松島さんは、その後、フィラデルフィアのペンシルヴ

アニア州立大の教授となり、彼が、宮本流惑星物理学を学位取得にまで教え込んだ最初の学生が、今をときめくJames Hansen（愛称ジム）とA. Lacisである。ジムが宇宙飛行士の毛利さんと対談しているのをテレビで見た人も居ると思うが、ジムは、CO₂による地球温暖化を最初に正しく（間違えている人は大勢いる）定式化した人で、IPCCとやらのその方面の第一人者である。彼とLacisとの2000年だったかの論文には日本女性らしい共著者の名前もある。松島さんは、彼等が学位を取得する前後に彼等を武者修行に日本へ送り込んだ。東大の天文学教室の私の所にも2~3ヶ月は居たであろうか。惑星物理をやっていることは分かっていたが、何の目的で長居をしていたのか見当も付かなかった。それが漸く分かったのは、それから10年あまり経って、東大定年後近畿大学で海洋大循環やソーラーポンドの研究をし、地球温暖化に興味を持つようになってからであった。ジムとLacisが来た頃、私が研究していたのは、実は、星や太陽などのスペクトル吸収線が大気構造に及ぼす毛布効果が、プランク・カーブの長波長側と短波長側では、大気構造の温度勾配に逆の働きをすることであった。恒星大気と地球大気とでは、エネルギー入射の方向が逆であることもあり、吸収線の毛布効果と温室効果とは区別する必要がある。また、地球大気中では、温室効果と温暖化、温室効果ガスと温暖化ガスとは全く別といってもよいほど区別すべきであることも注意しておく必要があるが、これについては後で述べる。ジムの功績はその辺りをきちんとしたことである。松島さんは、先年亡くなられたと聞いたが、地球環境問題の草分けとして忘れられない人である。

地球環境は超多次元の複雑系であるが、地質時代といった億年オーダー又はそれ以上の長期的変動と万年オーダー、千年から百年オーダーの変動とそれに伴う非線形変動、それに人類文明が主原因の一つとなっている百年以下の変動に分けて考え、その後で総合的な判断をするのでないと問題の本質を見失う。物理学や地球物理学からのアプローチでは、よほど視野の広い人でないと誤った判断をすることになる。その一つが、地表の平均気温の解釈である。古い理科年表をみると、海拔0mの標準大気の気温は約15°Cであるが、その解釈に少なくとも3通りの解釈とそのヴァリエーションがある。その一つは、太陽定数1.37kW/m²を地球断面積で受けて、その4倍の地表面積で黒体放射する温度（約5°C）に水蒸気、窒素、CO₂などの温室効果（10°）が加わって、15°Cになるという考えである。第2の考えでは、太陽定数にアルベドAの効果（1-A）（=0.7）を掛けて有効地表黒体放射温度（-18°C）とし、それと15°Cとの差、33°を温室効果によるとする。

第1のモデルは、アルベドの効果を無視しているが、夜間や極地の放射損失を過大評価しているので、結果はそれほど悪くない。第2のモデルは、アルベドの概念と温室効果と全く無関係なものとして扱われており、その上に夜間や極地の放射損失が過大評価されているので、地球温暖化を考える基礎のモデルとしては不適當である。地球温暖化を論ずる上で、もっと実際的なモデルがある。1000m以上の深さの深海水温度は、太平洋・大西洋・インド洋とも約3°Cであるという。水深約2000mの北極海の海底温度は、地熱を0°C以下の表層に熱伝導するために、約3°Cで、これが源流となる海洋大循環が北太平洋アリューシャンの辺りまで達し、フィリッピン・イン

ドネシア海域をバックして再び喜望峰を回って南米東岸を抜けて、赤道付近を東漸し、西大西洋を北上してグリーンランド沖で冷却し、沈み込む海洋大循環を概算すると約1000年のオーダーになることが分かる。この計算には、深さ4km、3°Cの冷水のつくる水圧と大西洋東岸の同深度の水圧との圧力勾配と北大西洋を南下する時のコリオリ力との釣り合い、或いは、地球一周距離での動径方向の圧力勾配と径1000mの渦粘性との釣り合いでも求められる。放射性元素による実測値では、1500年という。よほど、途中の南極海、太平洋、インド洋の熱力学環境が安定しているのであろう。その答えは、海洋のソーラーポンド機構に見出される。

暑い夏の日、海面からの蒸発が盛んで、塩度が高まり、たまたま塩度が高く温度の低いゆらぎが出来ると、周囲より比重が高くなり沈み込む「塩の指」を生ずる。温度は一様化しても、塩度のため更に沈み込み塩の糸を生ずる。この不安定機構が毎日、毎年、万年、億年続くと、海洋の塩度は深いほど大きくなり、比重が大きくなるので、対流が起こりにくくなる。北欧の塩田地帯に雨水がたまり、太陽光がさして、熱い水たまりができたソーラーポンド機構である。水は遠赤外光を透さないで、数10m、100mで吸収された太陽エネルギーは夜間や冬季海面が低温になっても、熱伝導で出るのに1000年以上もかかる。その間に、海洋大循環をはじめ、海流が平均化するので、世界中の深海温度は3°Cとなる。これが、海が守る普遍的な地球環境の標準平均温度に他ならない。従って、地表の標準温度が15°Cであれば、それとの温度差12°が、温室効果によるものとなる。

最大の温室効果を持つものは、水蒸気であるという。自分で勘定したことはないが、多分本当であろう。しかし、水蒸気は温暖化ガスでないことも明らかであろう。つまり、12°の温度差を上げるのには寄与したが、大気中の水蒸気量を増やしても気温は高くなると考えられる。逆に、水蒸気が増えると、入射する可視光が雲などで遮られ気温は下降するかもしれない。地球全体の水量は、人の一生程度の年月では殆ど変らない。輻射輸達論の見地からすると、地球大気では可視光、近赤外領域ではフラックスが日中は内向き、夜は外向きだから、吸収線は昼は遮蔽効果、夜は遠赤外と同じく温室効果となるが、昼はどっちみち対流圏では輻射輸達の効果は小さい。また、温室効果の増減は、フラックスでウェイトした平均吸収係数によるoptical depthの増減を通じて影響するから、強い吸収線を作る分子の増減は温室効果の増減にはあまり影響しない。つまり、多少分子数は増えてもそれ以上吸収は増えない。結局、最強の温室効果を持った水蒸気は、温室効果はあっても温暖化効果はなく、雪や氷によるアルベド効果で、寒冷化ガスであるかもしれない。これに反し、二酸化炭素CO₂は300K前後の黒体輻射の遠赤外光を吸収する多くの振動・回転準位での不飽和吸収線を持つので、代表的な温暖化ガスとして働く。恐らく、ジムは水の影響、夜昼・季節の影響、緯度・地域差なども考慮した計算をしたことであろう。20~30年オーダーの地球温暖化の最大要因は、万年・億年かけて地球が貯めた化石燃料を100年で浪費する人為によるCO₂量の増加によることは、間違いのないであろう。

CO₂の温室効果は、宮沢賢治の「グスコーブドリの伝記」にもあるように、昔か

ら知られていた。46億年の太陽進化では、プレカンブリア期からの何十億年の間に、太陽は何割か増光したが、地球環境では、森林が繁茂し、光合成でCO₂を減らし、そのため、動植物の生存条件が十億年の時を超えて保たれてきたという。森は、大量の水を吸い上げて葉を太陽光から保護すると同時に、水蒸気を大気中に送り込み、断熱温度勾配を下げて、対流を促進し、森の中は風が通り、その風でCO₂が葉に運ばれ、乱流拡散で葉緑素に達する効率が20倍にもなるという。有名な矢吹効果である。太陽光をまともに受けると約90℃、海が平均化すると3℃、1気圧の大気下では、水が液体の水である温度で、それによって地球生命が維持されている。銀河宇宙10¹¹個の中に、地球のような惑星を持った星が何個あるか。奇跡の地球！その奇跡を動物・植物・微生物が守っている。その奇跡！それを知るのが地球環境天文学である。

20世紀になって、石油・石炭の大量浪費によって、地球温暖化が進み、エネルギー・地球環境・食料（人口）問題が、同時に絡み合っ、人類生存の条件が厳しくなってきた。人類は、これまで衣食住を發明して環境変化をしのいできた。21世紀の危機には、億年かけて進化してきた海の知恵と森に知恵と、それに人の知恵を結合して難局を乗り越えるのがよいであろう。地球環境は、生命環境には理想的だが、石油浪費に慣れた文明のエネルギー源としては少し不足である。6月24～26日、第4回新エネルギー世界展示会アカデミック・コーナーに出展予定のNPO東京自由大学の展示を参考のために紹介すると、先ず、宇宙物理出身の大木健一郎さんによる極軸シデロスタットが開口5～10m²ほどの辻内式5段非結像集光鏡で20倍程度の集光をして、上空に固定したシーロスタット平面鏡に送る。その下方、第1鏡の疑似焦点あたりに、上部にスポンジをつめたペットボトルを少し間隔をあけて縦に並べて支持の網の上に置き、その下10cmほどに太陽電池を置いた全体をバケツ状のポットに入れる構造である。太陽電池は水で冷却し、温まった温水はペットボトルが粘性利用のポーラス・ソーラーポンドとなって対流による熱損失を防ぎ、更に太陽光を吸収して沸騰する。沸騰水でタービンを廻せば石油火力発電より格段に安く電力が得られる予想である。名付けて、海と森と人の和の太陽光発電という。呵々。

追憶の京都と花山及び飛驒

金甲星

慶熙大学校 応用科学大学 宇宙科学科 教授

私が日本に留学していた期間は1982年1月25日から1988年1月26日までの6年間である。この6年は私にとって学問の基礎を築いた時期であり、若者らしい夢と希望に満ちた人生の黄金期だった。

日本に入国したのは、冬の寒さが厳しく感じられる日だった。博士号取得という抱負と夢を抱いた私は、ソウルから大きな荷物を引きずりながら京都大学に向かった。初めて乗った飛行機、見知らぬ町の景色、聞き取れない言葉。不安な気持ちを