

太陽と地球気候は 関係あるの？

はやのん 作





3人の科学者

による

世紀の疑問



ガリレオ・ガリレイ (1564-1642) イタリア

1610年のことです。自作の望遠鏡を太陽に向けたところ、黒いシミがいくつか見えました。それらは不規則な形をしており、そして全部同じ方向に動いていました。それらのシミは太陽面上にあったのです。アリストテレスによると、そして教会の教えるところによれば、すべての天体は清廉潔白で変動しないものはずです。しかし、最も大きい天体、太陽には汚れがあったのです。

ガリレオによる黒点の発見は、ドイツの天文学者シュワベが黒点の11年周期を発見する200年以上も前のことでした。



1613年6月23日(左)とその2日後(右)の黒点スケッチ

S. P. ラングレイ (1834-1906) アメリカ

太陽黒点数は周期的に変わります。私は考えました。たとえばインドでの飢餓やロンドンでの穀類の価格といった、地球での現象が太陽に関係しているかについて、いい考えは全く思いつきませんでした。最も考えやすいのは、もし黒点数が太陽が放つエネルギー（太陽定数）に関係しているとしたら…。そこで私は、太陽定数を非常に正確に測定する計器を発明しました。その装置内には黒い金属箔があり、そこに吸収された熱量を電気変換



太陽からのエネルギー量を測定するボロメーターと呼ばれる装置

することによって、太陽から地球に送られてくるエネルギー量を計ることに成功したのです。私たち人間はいわば太陽の子なので、この地球上のいろいろなことがいかに太陽に依存しているかを学ぶことは意義あることだと思います。

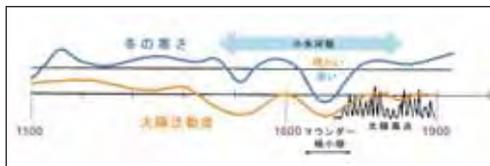
ラングレイの発明した装置が地球を回る人工衛星に積載され、地球大気の影響を受けずに太陽定数を測定できるようになるのに、約100年を要しました。

J. A. エディ (1931-) アメリカ

「太陽変動は周期的である」と学校で習いました。しかし、オーロラや太陽黒点の古い記録を根気よく調べ、さらに日食のときの太陽の外延大気のスケッチや年輪に貯蔵されている炭素14の量も調べていくうち、16世紀から17世紀にかけ



て、黒点がほとんどゼロになっていることを見つけたのです。また、この時期の絵画などを調べていくうち、太陽のこの異常な状態が、ロンドンやパリの寒かった冬に見られるように、地球に異常な事態を起こしていたことを確信するに至ったのです。研究の最初の段階では、私自身これらの結果は、「太陽が気候に影響を与えてははず」という先入観にとらわれているためと思い、捨ててしまおうと思ったのですが、太陽のスケッチは非常に正確で、信頼に足るものと感じるようになったのです。



太陽黒点数と冬の寒さの関係

それから2、30年して、研究者は初めはしぶしぶながら、太陽活動が気候変動に影響を与えていることを考え始めたのです。こうした研究は、太陽と地球に関する長期間にわたるデータを必要とします。その上でこそ、太陽の明るさが地表の温度を決定するメカニズムを理解できるのです。



太陽から地球までの距離は
1億5000万km
ノンストップの新幹線でも
50年かかるほどの距離

遠く離れている地球は
太陽ににらまれている



太陽の中心から
半径が3分の1程度の部分は
温度が1500万度を超える原子炉！

そこで生まれたエネルギーは
放射と吸収を繰り返し
そして最後は対流によって
何十万年もかかって
太陽の表面へと運ばれていく



太陽の光は
8分で地球に届く



太陽の表面から
地球に送られる
エネルギーの流れは

光合成の源となり

地球を暖め

天気や気候を
生み出し

地球上の生命を
存在させている

「太陽が地球に
にらみをきかす」とは
どういうこと
なのでしょう？

海軍科学研究所＝ノーベル賞受賞者も出ている、ワシントン郊外にあるこの
アメリカ国立研究所は、発明王エジソンの強い要望により1923年設立された。
現在は、原子核物理、物質科学、ロボット工学、レーダー工学、宇宙科学などで
世界をリードする研究が行われている。

アメリカ ワシントンDC
Naval Research Laboratory
海軍科学研究所



それでは
もるちゃんと
ミルボくん

太陽によって
地球の気候が
どのような影響を受けているか
いっしょに勉強しましょう！

はい！



ジュディス・リーン博士



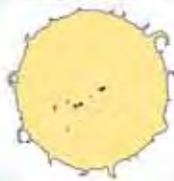
科学大好き小学生
もるちゃん



犬型ロボット
ミルボ

太陽はとてつもなく大きくて力強く
何十億年にもわたって、あの場所にあり
いつ見ても変わらないように
思われていますが、最近の人工衛星により

じつはとても複雑に
変動していることが
わかってきたのです

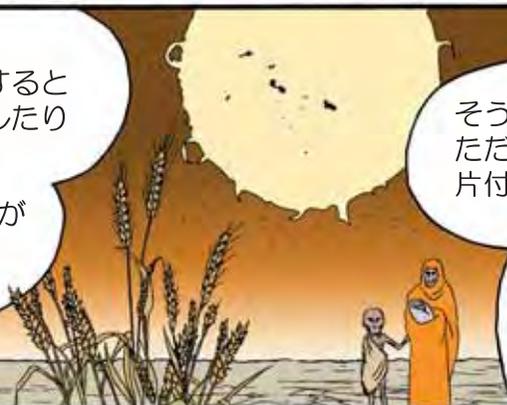


太陽の黒点が
増えたり減ったりすると
穀物の価格が変動したり
飢饉が起きる

というようなことが
昔から言われて
きました

そうしたことは
ただの偶然の一致として
片付けられてきました

でも
最近では太陽と
気候の変化には
関係があるということが
わかってきたのです





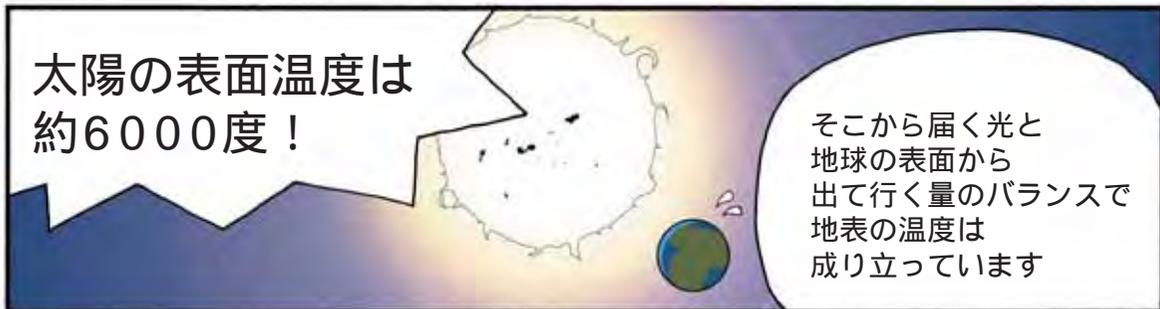
ちょっと散歩をしましょう！

太陽から届く熱のおかげで暖かいですね

地球の表面って私たちが暮らしていくのにちょうどいいくらいの温度だよな！

どうしてこうなっているのかな？

今まで当たり前だと思っていたけど考えてみるとフシギだな！



太陽の表面温度は約6000度！

そこから届く光と地球の表面から出て行く量のバランスで地表の温度は成り立っています



太陽からのエネルギーの約3分の1は雲や海などで反射されたり大気に吸収されたりします

残りの3分の2の熱は地表と大気の下のほうを暖めています

そのおかげであったかいんだね～



あれっ？

太陽からの熱を受け取っていたらどんどん熱くなっていくんじゃないのか？

よくしたことに地球は目に見えない赤外線という形でエネルギーを放出しているのです



さらにその放出エネルギーは二酸化炭素などのガスが吸収し大気を暖めるのです

このいわゆる温室効果によってわたしたち地球人は15の温室の中にいるみたいに過ごすことができます

もし温室効果がなかったら地表は-18℃になっていたのです

ぶるぶるッ

太陽から届いたエネルギーの地球への影響をもう少し詳しく見てみましょう！

光と言っても人間の目には見えない光もあるんですよ

紫外線とか赤外線って聞いたことがあるでしょう？

あるあるー

紫外線… ああ！ 知ってるぜ！

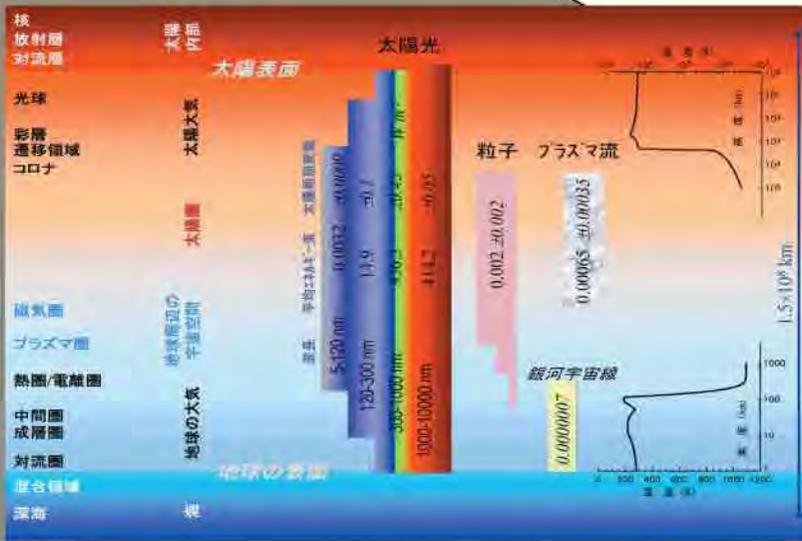
うーん…… なんだっけ？ 食べる物か？

太陽からの光（電磁波）のうち地球の気象にとってとくに大事なものは紫外線です

太陽の層と地球大気の高さはおたがいに高さの順に関係しあっているんですよ

熱圏では太陽の外側の気象から放出された光が吸収されて電離層ができます

中間圏・成層圏では太陽の低高度の気象から出た光エネルギーが吸収されてオゾン層をつくる要因となります

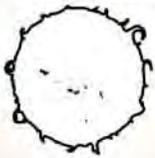


オゾン層は紫外線を吸収して大気を暖めています

気温は上空に行くほど下がるのですがオゾン層のあたりは逆に暖かくなっています

オゾン層は植物や動物の細胞を壊す紫外線から私たちを守っているんですよ

地球と太陽のあいだの宇宙空間は
からっぽのスペースではなく
荷電粒子と磁場で
満たされています



これが
「太陽圏」
です！

太陽からは
プラズマの風が
流れ出していて
地球の磁場を
このような形に変えています

この太陽風は
じつは太陽の
大気なのです

太陽風は
地球の気候に
影響を与えるの？



いいえ
地上の気候には直接影響はないわ
でも
地上から何千キロまでも続く
ジオスペースの大気には
影響があります

そしてその効果は
太陽-地球気候を
理解するうえで
とても大事なのです

直接ではないけど
地上の温度を
コントロール
しているってことだな！



太陽風の
直接じゃない影響って
きちんと
調べられているのかな？

太陽風はジオスペースを
がんじょうにして
銀河からの宇宙線が
地球にやって来ないようにもします
しかし太陽風が弱いとき
宇宙線は…

うわー
スゴイ！

樹木の年輪や氷床コアに
取り込まれ
過去何万年にわたる
太陽の変動を語ってくれます



太陽からの全放射量を測るには地球大気にじゃまされないように

人工衛星に積んだ精密機器が必要です

これを太陽定数といい地球の大気圏外で1平方メートルあたり約1362W

しかし太陽からの熱量は一定ではなく黒点数とともに長期変動していることがわかりました

今まで太陽定数と呼んで一定だと思われていた太陽からの全エネルギー量が変動しているということです

黒点が多いときに太陽はより多くのエネルギーを地球に送っていることがわかりました

黒点は温度が低いからこの発見は一見矛盾しているようですが

じつは黒点の近くにある白斑という明るい領域からの熱量がとても多く太陽全体としては黒点が多いとき光量も多いということです

届く光の変動量は光の波長によって違いますが...

全放射量は太陽活動の極大と極小で0.1%くらい変わります

いけません！

相対的にわずかな変動でも大きなエネルギー量です地球には大きな影響を及ぼすことだってあるのです

この惑星は敏感ですからね

変動するって言ってたからどれだけ～って思ってたけど11年でたったの0.1%?

そのくらい無視しちゃってもいいんじゃないの？

それに紫外線の領域では0.1%より大きく変動しているんですよ

太陽エネルギーは
11年周期で変動しています
太陽活動が増大すると
太陽からのエネルギーが増し
そして地球では
地表からの高度が
上がるほど
強い影響を受けます

太陽に近い
からかな？

それほど単純な
問題ではありません

11年の太陽周期で
地表付近の
太陽からのエネルギーが
1平方メートルあたり
1W増えると
地表付近の温度上昇は
世界平均で約0.1度

熱圏・電離圏

400km

90km

中間圏

50km

成層圏

オゾン層

10km

対流圏

しかし
高度50kmでは
紫外線照射によって
1度も上がります

太陽活動が原因の
成層圏オゾンの変動は
数%にも達します

この変動量はフロンによる
オゾンの長期減少や
エルニーニョ現象などに関連して
起きているオゾンの変動と
同じくらの大きさです

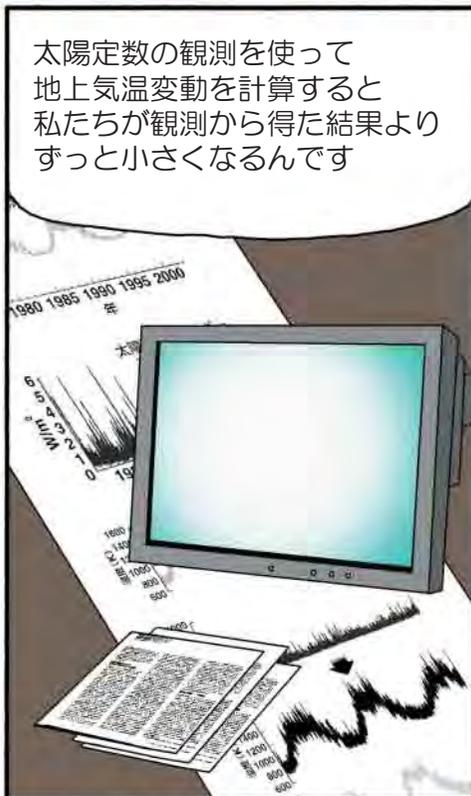
国際宇宙ステーションのある
高度400kmくらいでは
極紫外線の変動によって
なんと500度も
温度が上がるんですよ！

うわー
そんなに!?

太陽の変動が
そんなに大きな
影響になって
いるとはー

しかし
地球大気変動の
原因はさまざまです！

何がいちばん
効いているかの
定量化は
現在進行中の
研究課題です



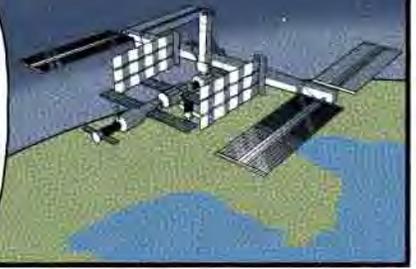




これまでは
太陽-地球気候という
長期変動を
お話してきましたが
もっと短期的にみると

大気の高いところや
宇宙空間では
太陽の影響を
地上より強く
受けることになります

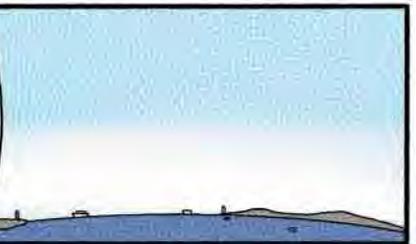
太陽の爆発によって生じる
高エネルギー粒子で
人工衛星の機器
宇宙飛行士
極地方を飛行する
航空機の乗客の健康に
害が出る可能性があります



太陽活動によって
大気密度が変わると
低高度の地球周回軌道をもつ
人工衛星の軌道が
変わってしまうことも！



太陽活動によって
電離圏の電子密度が変わり
無線航行や通信が
乱れることもあります



地上でも
大変なことが
起こります！



地磁気嵐によって
誘導電流が起こり
地上の送電線や
パイプラインに電流が流れて
電線が焼き切れたり
停電を引き起こしたり
することもあります

そういうことが
起こらないように
研究して
対策をとるとい
うことだな！

太陽-地球システムを
理解することは
私たちの生活舞台を
理解するということ！

だから
これからも研究が
必要なんですよ！

なるほど
ね～

太陽と地球の
大きなつながりを感じた
もるちゃんとミルボでした

太陽と地球気候は関係あるの？



「太陽が光っていると暖かい」って当たり前でしょ。それなのに、「太陽-地球気候」の研究は どうしてそんなに難しいの？



当然の質問ね。昼が夜より気温が高かったり、夏の方が冬より暖かいのは、地球が自転していることや自転軸が傾いて公転していることにより、太陽からの熱が一番効率よく届く地球の緯度が変わるためです。全地球の気温を1年にわたって平均すると、一定になるはずですよ。

しかし、もし太陽の光り方自体が変動するならば、1年平均の地球の気候だって変わるはずですね。要するに、いろいろな要素が絡み合っているのが難しいの。



太陽の全輝度は太陽定数と言うって学校で習ったけど、実際には定数が定数ではないってこと？



そのとおり！ 太陽の全輝度、つまり太陽が放出するいろいろな波長のエネルギーを全波長にわたって合計した量が、11年の周期で変わっていることが最近わかったの。といっても、変動の大きさは0.1%程度なのだけだよ…。

紫外線の変動量は、可視域や赤外線の変動量よりも大きいということも観測からわかってきたの。こうした測定は、人工衛星に積んだ精密な装置で、大気圏外で行わなければなりません。



なるほどそりゃ大変だ。でも、太陽活動は黒点の数で示しているね。黒点が どうして太陽全体の出すエネルギーに関係があるの？



またまたいい質問！ ご存知のように、太陽が活発だってことは黒点が多いってことね。黒点というのは、読んで字のとおり、太陽表面の黒い場所だから、そこから放射エネルギーは少なくなるということですよ。しかし、黒点が増えれば、放射エネルギーを増やす領域も出来ます。たとえば、黒点の

周りに出来る白斑と呼ばれる明るい領域からの放射増加は、黒点での減少を凌ぎ、太陽全体としてはわずかながら(0.1% くらい)明るくなるというわけですよ。



そんな小さなエネルギーの変動が、地球の気候を変えることができるの？



0.1%変動というのは、相対的な数値で、エネルギー量は大変なものです。0.1%と言っても、太陽からの熱量の11年変動は、いま問題になっている温室ガスの効果に等しいくらいなんですよ。観測によると実際地球全体で11年で平均0.1度変動することがわかっていますが、場所によってはこの値より大きいところも小さいところもあります。大気や海洋の影響がそうするのです。過去のデータを見ますと、雨量や干ばつが太陽定数の変動にとても敏感であることがわかります。



では、太陽活動がここ100年くらいの地球温暖化を説明できるの？



第4次IPCC* 評価(2007年)によると、1750年以來の温室ガスの増大による気候変動は、太陽活動の影響の10倍だということです。また、1880年以來の太陽活動による地表の温度増加は0.1度ですが、人間活動による温室効果は0.65度より大きいとされています。



もし太陽活動が、また17世紀に起きたような極小期になったら、そのときの地球のように寒冷化するということ？ 温暖化はどうなるんや。

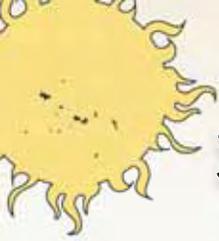


太陽活動による太陽の明るさの変化はせいぜい0.数%で、それによる寒冷化は0.数度止まりでしょう。それに対して、二酸化炭素の量が2倍になれば、地球の温度は4度も上昇しますので、人間活動による温暖化の方が「勝つ」ことになります。



どっちが勝っても、お手柔らかに頼みたいよ。

* IPCC: 気候変動に関する政府間パネル

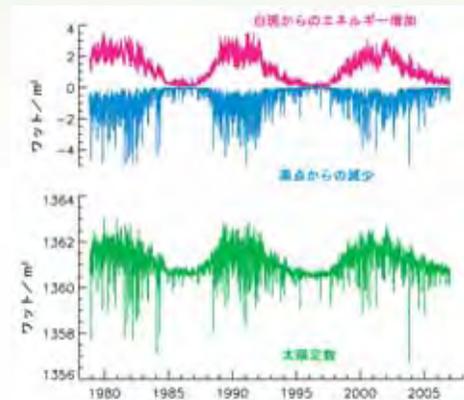


太陽と地球気候の関係の理解のために

太陽は、広い宇宙の中では、寿命の半分くらいを過ぎたごくごく普通の星であり、地球はその太陽から1億5千万キロ離れて太陽の周りを回っている惑星です。昔から科学者たちは、太陽のエネルギー放出が地球にどのように影響しているのかを探ってきました。今日、地球温暖化への関心が高まる中、気候変動への自然変動（すなわち太陽の効果）と人間活動による効果をきちんと分離することが緊急の課題になっています。

中心付近での核融合反応によって、太陽のエネルギーが作り出されています。その電磁エネルギーは、表面からいろいろな波長で宇宙空間に放射されます。波長のピークは、ちょうど人間の可視領域です。この放射は、地球表面を - 18 に暖める計算になりますが、実際の地球の平均気温はその値より33度も高くなっています。それは、大気中にある温室効果ガスが、地球から宇宙空間に逃げていく熱を吸収してくれているからです。つまり、太陽からの熱と地球から逃げて行く熱の差し引きが、現在の地球の平均温度を決めているというわけです。このバランスが崩れたとき、気候変動が起きるのです。

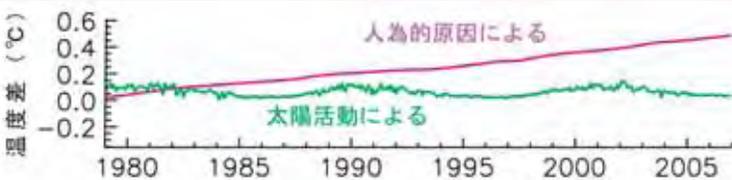
人工衛星に積載された高精度放射計測器が太陽の明るさを測り始めたのは1970年代の終わりのことです。そして、太陽からのエネルギーが一定ではなく、常に変動していることが発見されたのです。太陽活動が盛んなとき輝度が増えるのは、白斑による増加が黒点による減少に勝っているときでした。実際、黒点による太陽の明るさの減少と白斑による増大のモデル計算で、観測された85%もの変動が説明できました。しかし、「太陽定数」の変動が11年周期に限定されたものなのか、もっと長い周期の変動が存



太陽定数の11年周期は、温度の低い黒点と、高い白斑からの「差し引き」効果から生じる。

在するのかを決定するには、もっともっと長期間の連続観測が必要なことはいうまでもありません。

太陽活動による地球気候変動は、たくさん考えられる要因のほんの一つにすぎません。たとえば、火山噴火、エルニーニョ振動や他の大気 - 海洋作用、森林などの土地被覆率、そして成層圏微粒子（エアロゾル）や温室効果気体なども、すべて気候変動に少なからぬ影響を与えます。昔の気候データを調べたり、コンピューターを使ったモデル計算によると、人間が機械を使いだした産業革命以前の何千年にもわたっての気候変動（最高1度に及ぶ）は、太陽活動と火山噴火だけによって説明できることがわかっています。最近のデータも昔の記録も、多雨量や干ばつが太陽の明るさに敏感であることを示しており、エルニーニョ現象などの原因になっている海洋と大気の相互作用が関係しているのだらうと想像できます。これらの結果を考慮に入れて気候モデルが改良され、将来の気候予測がもっともっと確かなものになることでしょう。



太陽活動と人為的要因による地上平均気温の変動（重相関解析による）。両曲線とも、1976年（太陽極小期）での値がゼロになるようにセットしている。





名古屋大学太陽地球環境研究所

「太陽-地球システムの構造とダイナミックな変動過程の研究」を目的とする、この分野では唯一の全国共同利用研究所です。

4つの研究部門（大気圏環境、電磁気圏環境、太陽圏環境、総合解析）から成り、太陽と地球の関係をより深く知るために、国際共同研究を実施しています。プロジェクト研究の推進とデータ解析/供給の円滑化のため、ジオスペース研究センターも設置。全国に配置する附属観測所では、電波・光学などの観測を展開中です。

<http://www.stelab.nagoya-u.ac.jp/>

CAWSES: A SCOSTEP Program 2004-2008
地球気候に対する太陽活動の影響

宇宙天気：科学と応用

大気結合過程

宇宙気候



Climate and Weather of the Sun-Earth System (CAWSES)

「太陽地球系の気候と天気(CAWSES)」とは、国際組織「太陽地球系物理学科学委員会(SCOSTEP)」によるプロジェクトで、宇宙環境に関する理解を深めるとともに、人類や社会に及ぼすその影響を解明することを目標としています。観測・モデリング・理論において世界中の科学者が国際的レベルの研究活動を行えるよう組織し、また若い世代に教育の機会を提供することが主目的です。本部はアメリカのボストン大学内に置かれて、図のような研究テーマを実施しています。

<http://www.bu.edu/cawses/>

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SCOSTEP/scostep.html>

りくべつ宇宙地球科学館 (愛称：銀河の森天文台)

環境庁により「星空の街」、「星空にやさしい街10選」に選ばれた北海道陸別町。その自然豊かな環境の中に、平成10年7月、「りくべつ宇宙地球科学館」がオープンしました。日本最大級の115cm 反射望遠鏡を始め、30cm クラスの望遠鏡4基、4連太陽望遠鏡等が備えられています。この科学館内の総合観測室には、名古屋大学太陽地球環境研究所の「陸別観測所」と独立行政法人国立環境研究所の「陸別成層圏総合観測室」が併設されており、主に成層圏・対流圏大気やオーロラ・磁気嵐の観測研究が行われています。

<http://www.rikubetsu.jp/tenmon/index.html>



GEOSPACE 豊川市ジオスペース館

ジオスペース(太陽地球環境)をテーマに、産学官が共同でソフトを開発し、平成11年7月にオープンしました。全天周レーザー投影機を備えたプラネタリウムドームは、星とオーロラを同時に鑑賞できる、世界でも希な施設です。オーロラやオゾン層など、地球を取り巻くさまざまな現象を映像化する4面マルチビジョンもあります。さらに、パソコンを使って、地球から太陽までの広大な空間と地球との関わりについて、楽しく学ぶことができます。

<http://libweb.lib.city.toyokawa.aichi.jp/geo/>

著者 **はやのん** 1975年生まれ、琉球大学理学部物理学科卒業。科学とゲームに深い造詣を持つ漫画家。ファミ通PS2(エンターブレイン)、子供の科学(誠文堂新光社)、NintendoDREAM(毎日コミュニケーションズ)など連載誌多数。オーロラ鑑賞したさで衝動的にカナダへ飛ぶ行動力と、科学に対するの愛情にあふれる作品には定評がある。 <http://www.hayanon.jp/>

子供の科学(誠文堂新光社) 楽しく科学にふれる、小中学生のための月刊誌。1924年の創刊以来、「これから」を担う若い世代に科学の入口を提供。身近な現象から最先端の研究成果まで、自然科学のさまざまな事柄についてのやさしい解説のほか、手軽に科学のおもしろさを体験できる実験・工作の記事を満載。毎月10日発売。

<http://www.seibundo.net/>

制作：名古屋大学太陽地球環境研究所 / 協力：子供の科学編集部 / アドバイス：水野 亮 / 編集：野田ゆかり

本冊子は、平成20年度名古屋大学地域貢献特別支援事業の一環として制作されました。

All rights reserved.