

2011 年 7 月 23 日 (土) 13 : 30 ~ 15 : 00
県教育文化会館 501 号室

「富山から見える地球温暖化と異常気象」

講師 富山県環境科学センター

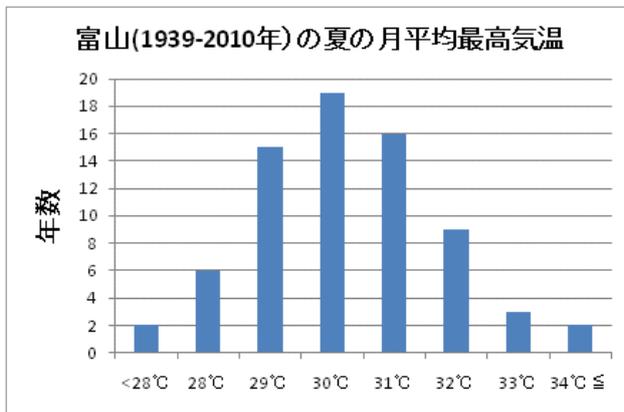
主任研究員 初鹿 宏壮 氏

1. 異常気象の定義と現在の世界の平均気温

最初に、異常気象とは何か。毎日の気温の 1 か月分を平均して何年間分も重ねて描いてみると各季節ごとに大体一定の範囲に入る。しかし時々、その範囲より高くなったり低くなったりする月もあるので、気温の頻度を棒グラフに表すと、真ん中が高い曲線が作られる。例えば、富山地方気象台では 1939



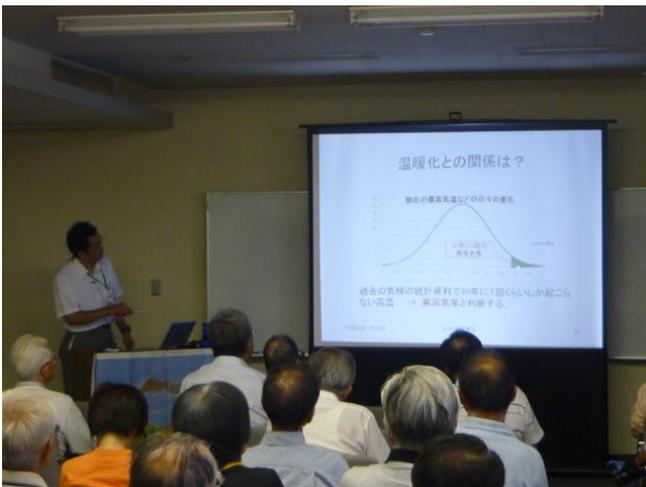
年から毎日、気温が観測されているので、そのデータを用いて 2010 年までの夏の月平均最高気温を頻度分布の形で見てみると、全体の 3 分の 2 は 30℃を中心とした 29~31℃の狭い



範囲に入るが、例えば 34℃以上となる異常に暑い年が 1994 年と 2010 年の 2 回、反対に 28℃未満となる異常に涼しい年も 1980 年と 1993 年の 2 回あった。この図からもこれらの年は、猛暑や冷夏と言われた年だろうと想像することができる。

一般に、異常気象は冷夏、猛暑、暖冬などに用いられ、総じて 30 年に一度ぐら

いの頻度で平年値から大きくずれる現象と考えられている。ここでいう平年値は、長い期間の平均が望ましいが、30 年の期間をとることが一般的であり、気象庁もこれを採用している。特に気象庁の平年値は、10 年ごとに更新しているので、昨年までの 10 年間は 1971 ~ 2000 年の 30 年間の平均したものを平年値としていたが、今年の 5 月からは 1981 ~ 2010 年の平均値に変更している。2000 年を過ぎるころから暑いので、毎年のように異常気象と騒がれていたが、これは 2000 年までの平年値と比べると大きくずれる年が多かったことを



表わして、暑い 2000 年代を含む平年値に変わったことで、これからの 10 年は、もしかすると若干その言葉が使われる割合が減ってくるかもしれない。ただし、温暖化によって平均気温が徐々に上昇していることや、年によるバラつき具合が変わることにより、やはり今後とも昔と比べて暑い年が増えてくることが想像

される。

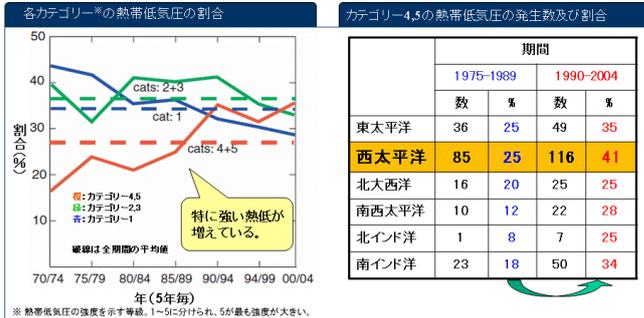
IPCC 第 4 次評価報告書によると、世界の平均気温は最近 100 年間に 0.67°C 上がっている。 1°C も上がっていないなら、大したことはないと思われるかもしれないので、ここで自作のアムービーもどきをご覧ください。まず練習として称名滝の変化を紹介する。図を何度か見ていると、積雪が徐々に消えていることがわかる。一方で 1941 年と 2004 年のアラスカの氷河では、60 年間に氷河が大きく後退していて、代わりに湖ができています。そして、昔は草がなかった所に木が生えている。このように、世界平均で 0.67°C でも場所によっては劇的に変わっているのだ。また、これはよくテレビや新聞で取り上げられている写真だが、あるチベットの氷河の 1978 年、1989 年、2004 年の写真を比べると、やはり氷河が融けて氷河湖ができています。この写真の氷河湖は長さ 3.5km、幅 500m、深さ 130m もある。この湖が決壊したときに備えて、湖の下の方の村人が石を積んでいるが心配である。皆さんはこれ以外にも、北極海の氷が融けているという話をよく聞かれると思う。毎年 9 月ごろに北極の海氷は最小となるのだが、2005～2007 年になるとその融け方に拍車が掛かり、劇的に海氷が融けている。温暖化することで、北極海では航路ができたり、地下資源が採掘できるという良い面もあるが、シベリアなどでは永久凍土が融けて部落が水没して住めなくなったり、牧草地が湖になるということが起きている。

また、氷が融けるだけでなく、熱帯低気圧が世界中で強くなっている。2005 年にアメリカのルイジアナ州を襲ったハリケーン・カトリーナは、約 1,700 人の死者と 100 万人の避難民を出し、2008 年 5 月にミャンマーに上陸したサイクロン・ナルギスは、死者・行方不明者合わせて 10 万人を出したとも言われている。図でカテゴリー 1 は弱く、カテゴリー 4 や 5 は強い熱帯低気圧を意味するが、それらの頻度を 1970 年代から 5 年間ごとに 2004 年

強い熱帯低気圧の増加

・ 過去30年で、強い熱帯低気圧の占める割合が増加している。

出典: Webster, P.J., et al., 2005: Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment. Science, 309,1844-1846. Reprinted with permission from AAAS.



期間	1975-1989		1990-2004	
	数	%	数	%
東太平洋	36	25	49	35
西太平洋	85	20	116	41
北大西洋	16	25	25	25
南西太平洋	10	12	22	28
北インド洋	1	8	7	25
南インド洋	23	18	50	34

※ 熱帯低気圧の強度を示す番号は1-5に分けられ、5が最も強度が大きい。
出典: Webster, P.J., et al., 2005: Changes in tropical cyclone number, duration and intensity in a warming environment. Science, 309,1844-1846. Reprinted with permission from AAAS.

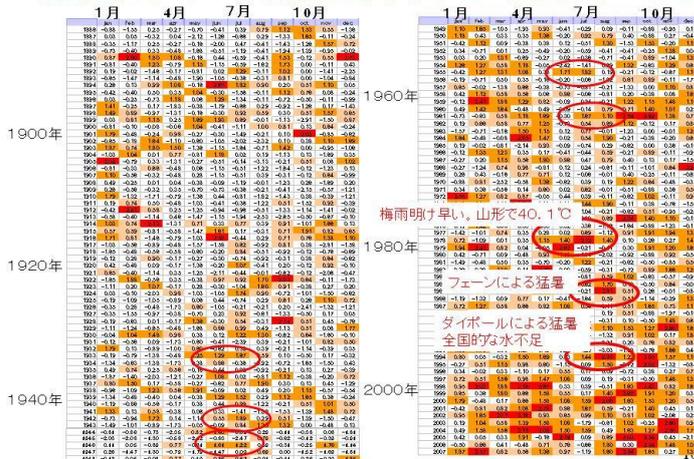
国 立 環 境 研 究 所 提 供

まで調べたグラフを見ると、カテゴリー1が減って、カテゴリー4、5が増えてきている。われわれが住む西太平洋で見ると、1975年～1989年では強い台風が85個で、全体のうち4個に1個だったのが、1990～2004年には116個で、5個に2個は強い台風になっている。

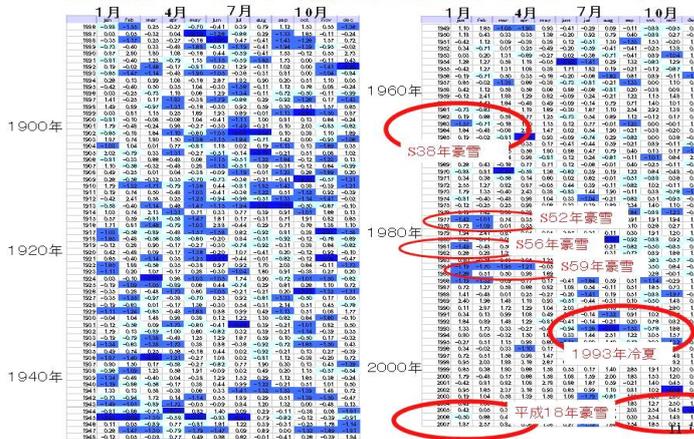
2. 富山県の気温変化

私は6年前に富山に赴任してきて以来、富山県の気候に関してさまざまなグラフを作ってきた。まず、伏木の測候所で観測され続けている1886年からの100年以上のデータを使っ

気温の平年偏差(伏木、暖かい年)



気温の平年偏差(伏木、寒い年)

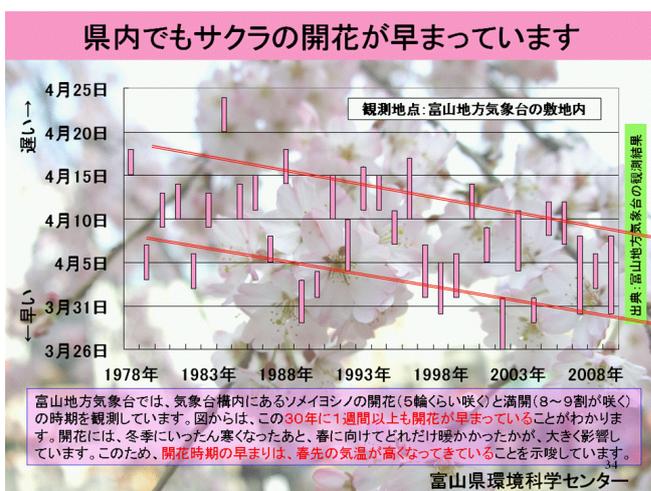


て調べた気温の変化状況からお話ししよう。表は1985年までの100年間の各月の平均と分散から平年偏差が2σ以上の月を真っ赤と真っ青に塗っている。真っ赤なところは月ごとに見た暑い方の異常気象、真っ青な所は寒い方の異常気象と考えてよいと思われ、全体的に見るとやはり30年に1回あるかないかである。また、過去の新聞で異常な気温として取り上げられた月に赤丸を付記した。この図からは、昔は「今年は暑くて異常な年だ」と書かれても実際にはそれほどなかったこと、最近では真っ赤な所が圧倒的に多く

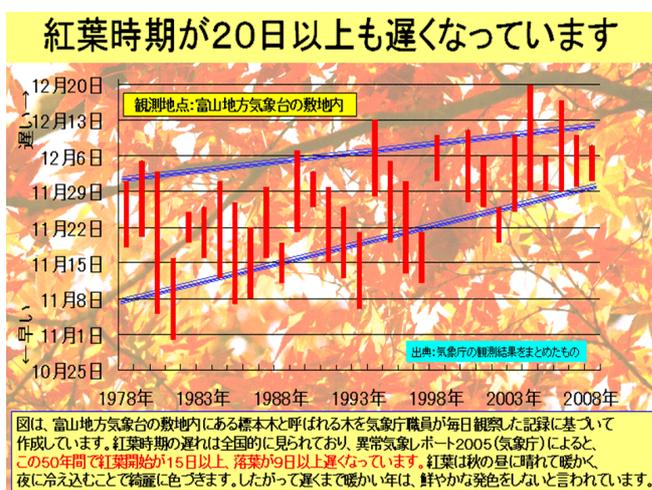
なっていることが分かる。逆に寒い年を見ると、昔は真っ青な所が結構多かったが、最近は見られない。例えば、昭和 38 年の三八豪雪は、ほかの年は暖かかったのに、この年だけ寒くなっている。その後、五二豪雪、五六豪雪、五九豪雪などがあるが、このような年が時々来ることで、大変な被害があったことが分かる。昔はもっと降ったのではないかと思われるが、最近では準備をしていないところで急激に降るので、交通機関などに大きな影響が出る。1993 年の冷夏のときには、それまであまり青がなかったのに急に青になっているし、平成一八年豪雪も同様だ。

3. 気温の上昇がもたらすさまざまな変化

次に、気温上昇がわれわれの生活に及ぼす影響だが、生物に起こっている変化を示す。ウェザーニューズ社の調査の結果、気温が上がった影響で、富山では見られなかったクマゼミが見られるようになったことが分かるなど、生物にも変化が現れ始めている。私の解析では、サクラの開花の時期が早まり、カエデの紅葉の時期が遅くなっている。これらは



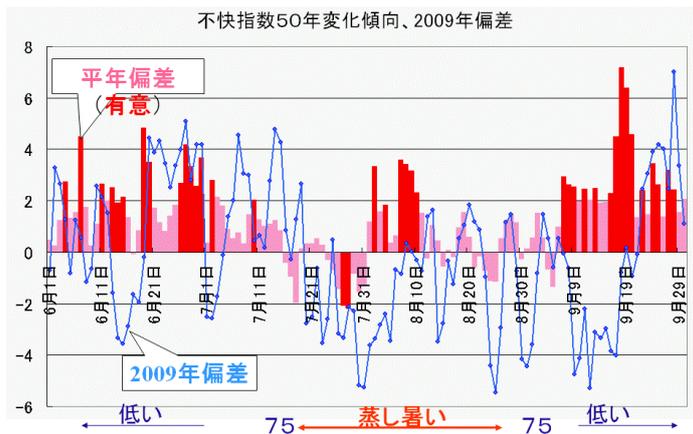
年による変動が大きいものの、昔は入学式の頃にサクラが咲き始めたが、最近では散ってしまっている年も出始めている。また、昔はカエデの紅葉の始まりは11月の初めだったが、今は12月の初めになっている。これは富山だけでなく全国的な傾向で、富山では2~3月の気温が高いとサクラの開花が早まり、9月の気温が高いとカエデの紅葉が遅くなる。



作物に関しては、国の農業分野の報告書があり、これによれば、富山のリンゴは将来採れなくなって、北海道が産地になり、富山でミカンが採れるようになる。稲作では、温度や湿度が高いと、ウンカなどの虫がつきやすくなることが考えられる。

一日の気温が 30℃以上になる日を真夏日と言うが、私が小学生のころは、真夏日は 1 年に 20~30 日だったので、夏休みが終われば学校は涼しかった。最近では真夏日が 40 日を超えており、9 月に入ってもまだ暑い日が続くため、小学生はさぞ大変だろう。さらに東京大学の予測によると、気温は今後も上がるので、今、暑いと思っている夏は、将来的には涼しい夏と考えられることになるかも知れないということだ。

蒸し暑い期間が長くなっている



近年 6 月や 9 月に不快指数が上がっており、過ごしにくい時期が長くなって来るだろう。ただし、富山で梅雨の影響がどうかという話になるとよく分かっておらず、今後の研究によって明らかにしていければと考えている。

そのほか、最近では突発的で局地的な豪雨（俗にゲリラ豪雨と呼ばれるが所属する日本気象学会ではこの表現は使われない。）が増えていると言われる。富山県でも 1 日に 1~30mm とか、10~30mm、30~50mm の雨が降る日が増えていることが分かっている。ただし、1~12 月まで、10 日ごとの変動を見てみると、特徴的な変化はない。つまり、ど

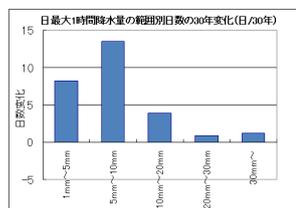
1時間に降る量

少ない雨が減少、大雨が増加
梅雨明け時期が特に増加

表 2: 各アジアの観測点 1 時間降水量の頻度の年 (日)

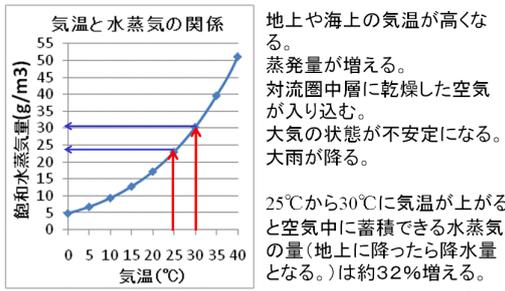
	<1mm	1mm~5mm	5mm~10mm	10mm~20mm	20mm~30mm	30mm~	days/year
法	222.6	827	423	132	23	11	365.3
米	221.1	820	283	92	28	8	365.3
英	226.6	841	386	131	20	9	365.3
中	205.1	824	530	199	39	10	365.3
日	204.6	850	381	100	17	7	365.3
韓	228.6	853	281	105	18	7	365.3
露	234.1	876	313	91	23	9	365.3
大	201.1	857	340	115	22	7	365.2
上	214.4	867	424	155	31	11	365.3
韓	221.1	871	373	106	24	8	365.3
日	225.7	887	370	108	21	9	365.3
立	133.0	169	154	132	44	11	194.0
平均	226.6	856	377	121	24	9	

* 立山は観測点



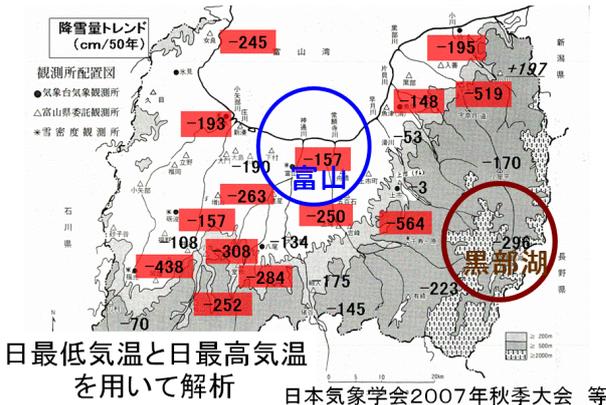
の時期の日降水量が増えたかは不明ということだ。しかし、1 時間降水量で見ると、特に 5~10mm を中心として 20mm やそれ以上の雨も増えており、時期的には梅雨末期のころの雨量が増えてきている。一般に 20mm より多くなると地形によっては道路が川のようになり危険であるが、今後そういう状況が増えてくる可能性があるということだ。

温暖化による激しい雨の増加



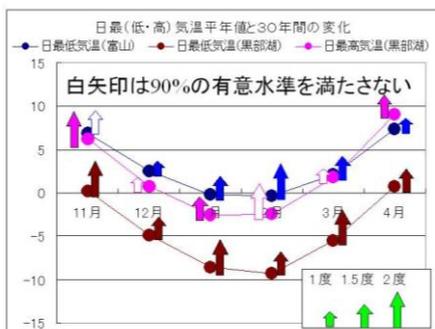
発生している。この事故は都市の雨水排水が集中したことが原因と思われるが、排水能力を上回るほどの多量の雨水は突発的な豪雨によって引き起こされたとみてよい。図に示す

降雪量の減少がおこっている地点とおこっていない地点との違い



過去からの降雪量や降雪日数の変化を調べることができるようになっている。まず降雪日数だが、50年間の変化としてみると、昔に比べて1カ月近く、平野部で雪の降る日が減っている。降雪量も平野部では1.5m、山の方では4~5m減っている。赤で塗られた変化は統計的に有意である。

富山は日最低気温が高くなり雪が雨に変わる 黒部湖は日最高気温が高くなり昼に雪が融ける



例として南砺市の写真をみると、2008年7月28日に1日に120mmを超えるような大雨に見舞われ、大災害となった。この日は台風と高気圧から押し出された暖かくて湿った空気が北陸地方に雨を降らせたのだが、その一部が京都にも流れ込み、神戸の都賀川で遊んでいた人のうち16人が2~3分で一気に増水した川に流され、5人が死亡するという事故が

ように、気温が高いと空気を含むことができる水蒸気が増えるため、降雨量が増えるというメカニズムがあり、気温上昇が夏季の豪雨の増加の一要因と考えられる。

一方、冬季の降雪量に関しては、先人の努力により富山県内に膨大な資料が蓄積されている。私は数年前から、それらをデジタル化しており、現在は

計的に有意である。ここで、変化が有意な富山地方気象台(富山)と大きく減っているように見えて変化が有意でない黒部湖の日最高気温及び日最低気温とその変化傾向とを見ると、富山では0°Cを下回る日が1~2月に減っており、湿度などにもよるが、地上気温がおおよそ3°Cより上がる

と地面に着くころには雨になるので、富山では近年、雪ではなく雨の日が多くなっているということだ。黒部湖では、もともと日最低気温が大きくマイナスであるので、少し気温が上がっても、やはり雪となる。しかし、12月や3月で日最高気温が0℃より上回ってきているので、雪はそれなりに降るが、なかなか積もらず、早く融けてしまっているのではないだろうか。



そこで、山の雪の融け方を環境科学センターと富山大学極東地域研究センター、立山カルデラ砂防博物館で共同で調査しており、立山室堂の近くに500円玉ぐらいの大きさの温度センサーを埋めたり、圧力センサーを融雪水がたまりやすい所に置くことで、いつ雪がどれだけ融けたかを調査している。また、定点カメラを置いてその様子

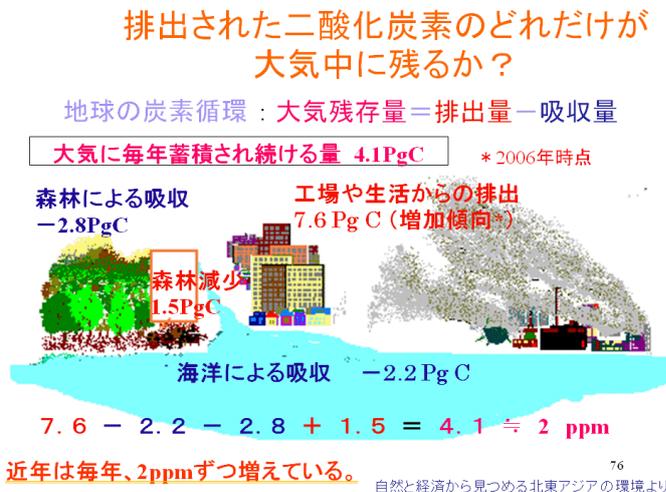
を観察しており、谷筋では雪があまり融けないのに対し、ハイマツが生えているような高い場所では早く融けていることから、地形によって融け方が変わり、植生分布とも対応することが分かってきている。

この調査のなかで、真冬の2月にも圧力センサーが融雪水の存在を示していたため、この時期に雪解けがあったかどうかを、気象モデルで調べてみた。2月の1～15日の変化を見ると、3～4日の段階で北風と南風が交互に吹くようになり、9日になると強い南風が吹いて、室堂がある辺りでは気温がマイナスからプラスに転じていることが分かった。このように雪解けが早まると、農業用水等いろいろな面で影響が出てくると思われるため、厳冬期の融雪が過去にもあったか、将来はどうなるかなどについても今後の研究課題と考えている。

4. 地球温暖化のメカニズム

ここで、温暖化の原理について簡単に触れる。まず、太陽の表面温度は6,000℃ぐらいある。物体はその温度に応じた波長帯のエネルギーを出すという法則があることから、太陽は紫外線から近赤外線までの波長のエネルギーを出している。そのエネルギーで地球を温めているが、上述の法則に従って、地球からも温まった分だけ15～20μmを中心とした赤外線のエネルギーを出す。つまり、太陽から地球に向けてエネルギーを放出すると、地

球はもらったエネルギーをまた外に放出するのである。この放出されたエネルギーの一部は地球の大気が吸収することになり、今度は大気が暖められた温度に対応するエネルギーを四方八方に放出する。ということは、地球が放出したエネルギーの一部がまた地球に戻ってくるということで、その分また地球を温めることになる。これが繰り返されると、大気中に二酸化炭素などの温室効果ガスがあればあるほど、エネルギーが宇宙へ出て行くときの障壁となり、出て行くまでに時間がかかることから地球が温まりやすくなる。これが温暖化の仕組みである。

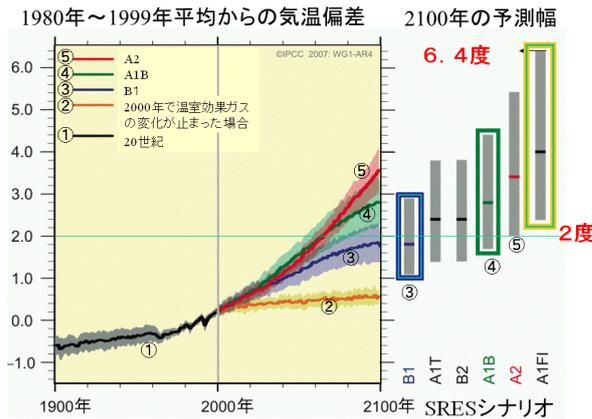


地球上で人間が工場や家庭から排出する二酸化炭素はだんだん増えてきているが、これは中国の経済発展などの影響が大きい。森がその一部を吸収してくれるのだが、最近、森林伐採や森林火災が増えてきている。また、海洋も吸収しているが、これらを合わせても十分ではなく、差し引きすると毎年約2ppm分の二酸化炭素が大気中に増え続けている。

5. コンピュータを使った地球の将来予測

世界の科学者が地球の気候の将来をコンピュータで予測している。コンピュータに現在の地球上の各地点の温度や風のデータを入力して物理学的な方程式を解いてみると、次の時点の風の強さなどを予測することができる。これを何十年、何百年と積み重ねることで、将来の地球の温暖化の状況が計算される。しかし、その計算を日本レベルまで細かくやろうとすると、かなりの能力のコンピュータが必要になる。実際に、東京大学等の研究グループが2002年時点で世界一の速さをもっていた地球シミュレータを使って計算した結果があるのだが、1850～2000年の世界の平均気温は、太陽活動の変化と火山噴火だけを入力しても、実際の変化と全然合わず、人間が出している硫酸エアロゾルや二酸化炭素の量の変化だけを入れても合わない。両方とも考慮に入れることで、ようやく実際の変化に重なってくる。従って、人間と自然の両方に影響を受けて気候が変化していると説明できる。

では、将来はどうなるか。環境にやさしい世の中ができた場合と、経済発展重視の世の



方向性(シナリオ)によって将来が変わる

中が続いた場合の二つについて推測してみよう。両者では使うエネルギーの量が随分違って来る。ある予測によると、経済発展により技術革新を目指す世の中では、2100年に2,000EJ(10⁸J)ぐらい使うようになっているが、環境重視の世の中では800EJまで増えた後だんだん減って行って2100年には

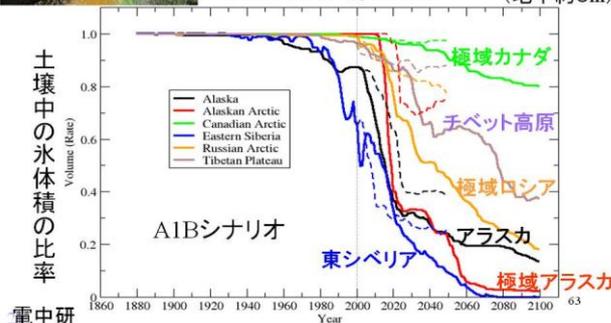
500EJと、前者の1/4である。化石燃料をいっぱい使う世の中が続けば、100年後には今より4°Cぐらい気温が上がると予想される。先ほど、これまでの100年で0.67°Cぐらいの変化があったとお話したが、それと比べても相当な変化である。しかも、環境重視の世の中になっても、2°C弱ぐらい上がると予想されるのだ。逆に言うと、2°C上がるか、4°C上がるか、それ以上上がるかは、皆さんが今後どのような社会を築くかによることになる。

ここで、世界の温暖化予測のうち、100年後に世界の平均気温が5°Cぐらい上がる予想となった計算結果を紹介する。この動画を小学生に見せると未来を絶望視する児童もおり、説明する際に細心の注意が必要だが、気温の変化のしかたや分布を説明するのに適している。過去を振り返ると、1950年代から1960年代は年によって暑くなったり、寒くなったりしているが概して暖かかった。1970年代は工業化に伴うエアロゾルの増加で少し寒くなっていた。この時期には世界中で寒冷化が騒がれていたが、1980年代からはだんだん暑くなってきて現在に至っている。このため、今の若者は暑い年しか経験していないことになる。そして、今は既に北極の氷が融け始めており、近い将来にはチベットの氷も北極の氷もほとんど融けてしまう。ただし、これは一つの計算結果で、こういう社会になる可能性を言っ



高緯度地域の凍土融解(予測)

Series behavior of Soil Ice (frozen layer)10
SRES A1B (member = f), yrs.1870-2100 (地中約3m)



電中研

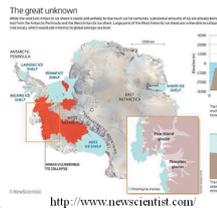
ているだけで、今後、温暖化防止活動を一生懸命やることで、緩和されると期待したい。

予測されるように、今後しばらくは温暖化が進むのは避けられないとして、永久凍土はどうなるか。ある研究者は2020年ぐらいをめどに、急激に世界中の極域で融け始めると予

測している。すると、もう一つ悪いことに、先ほど氷河が融けた後に湖ができているという話をしたが、この湖からメタンガスが出ているのだ。永久凍土の中にはメタンも凍っているんで、永久凍土が融ければ、中からメタンがぶくぶく出てくるだろう。メタンガスは同じ濃度で換算すると二酸化炭素の 40 倍ぐらいの温室効果があるので、これにより一気に温暖化が進むことが危惧される。

南極の氷は融けているのか？

- **西側では棚氷が大規模に流出**
→ 氷がどんどん海に落ちる
- **東側では降雪が増加**
→ 逆に体積を増やしている？
- **全体では1年でおおよそ60Gtずつ減少**
→ 多くの不確実性をともなう (Rignot et al. 2005など)
- **気温がある程度高くなると急激に融解が進む**
→ どの程度の気温がTipping Pointか？という研究はまだ進んでいない

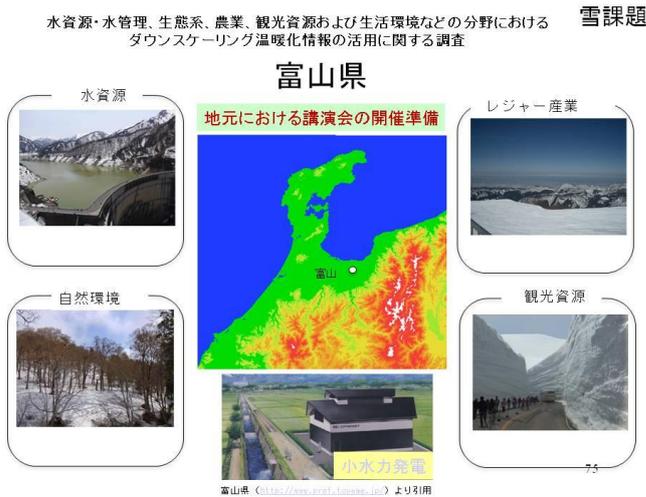


94

また、将来、グリーンランドの氷が全部融けると、世界中の海の高さを 7m ほど上げるといわれている。既にグリーンランドの辺縁部では、夏に氷の一部が融けて川ができている。一方、南極大陸はまだまだ寒いので、2°C、あるいは 5°C ぐらい温暖化したとしても極付近は寒く、全部の氷が融けるわけではないが、仮に全部融けたとすると、海面を 57m 上昇さ

せることになる。ある調査によると、大陸の真ん中は氷が厚くなってきているようだが、テレビなどで報道されているように西側では棚氷などの流出が盛んに起こっている。東側の降雪量の増加と西側の減少を差し引きした研究によると氷の量は徐々に減っている。今後、地球の温度がある程度高くなったときに、急激に融ける量が増える可能性もある。これをティッピングポイントと言うが、どの程度の気温なのかは、まだ分かっていない。

気候変化による影響として食料問題が考えられるが、世界中で雨が降らない渇水リスクや、大雨で困る洪水リスクが高まると予想される中で、今までどおり、日本に作物を売ってくれるだろうか。現に最近、小麦の価格が上がっている。この原因の一つに、ヨーロッパやオーストラリアの異常気象による不作がある。また、中国、インドが経済成長により毎日パンを食べるようになったことや、バイオエタノールの生産のために、アメリカで今まで小麦畑や大豆畑だった所をバイオエタノール専用のトウモロコシ畑にしていることも一因だ。日本の現在の食糧自給率は米も入れて 40% であり、今後とも食料を確保するためには国力を上げて高値に対処できるようにするだけでなく、日本の食糧自給率自体を増やしていくべきだろう。



昨年から、文部科学省の委託により、海洋研究開発機構、秋田大学及び気象研究所と協力して、北陸地方の雪の降り方が温暖化でどう変わってくるか、それにどう適応していけばいいかという観点で5年間のプロジェクト研究を進めている。先ほどお見せしたような地球規模の温暖化予測計算結果を活用し、ダウンス

ケーリングという手法で富山県の地形から地域レベルの予測をしようというものだ。これにより、今後の温暖化で県内の気候がどうなるかを、詳細にお知らせできている。さらに、行政、関連分野の研究者並びに事業所などの協力が得られれば、生態系、農林水産業、平野部の水利用など県民に密接に関連する温暖化影響への適応策の検討にも結び付くと考えている。来年、富山県でシンポジウムを開催する予定なので、皆さんにもぜひご参加いただきたい。また、このような情報を県民の方々に分かりやすく提供するために、温暖化防止活動推進員の方々にもご協力いただきながら、県民総参加による温暖化防止活動へつなげていきたい。

『付録』

立山の厳冬期の高温に関する図を2枚ご紹介します。

低気圧の通過に伴い、数日前にマイナス15℃くらいだったのが、13日から14日にかけてプラスの気温になったことがシミュレーションモデルにより確認でき、これと水圧センサーで確認された2月の融雪が対応しています。

こういった厳冬期の融雪が将来起こりやすくなるかどうか、更なる調査・研究が必要です。

