

平成23年9月3日（土）

15:00～16:20

富山県民会館 302 号室

第 1 回 2 限目

「衛星からみる環日本海地域の中の富山」

講師 富山大学 極東地域研究センター

准教授 串田 圭司氏

1. リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、対象物の反射や放射による電磁波により、非接触で対象物の特性を観測することで、特に地球観測衛星や航空機などから地表の対象物について行うことをいう。雪氷、植生、海洋、雲、降水、土壌表面、大気、地形、鉱物、都市などが対象物となり、応用分野としては環境モニタリング、天気予報、資源探査、防災・減災、農林水産業、地域計画、遺跡発見などがある。



リモートセンシングの特徴は、広域性、迅速性、均質性、周期性、継続性である。地上の観測では、一度に見ることのできる範囲に限られるが、宇宙から写真を撮ると広域の情報を瞬時に得ることができ、比較的質が保たれている。規則的に見ることもできる。継続性についても、最近のセンサー技術の進歩により、ここ 10 年ぐらいしかないデータもあるが、精力的に地球観測が行われるようになった 1970 年代から 40 年間のデータが蓄積されている。

現在、毎日撮っている地球全体の写真の解像度は 1km 以上である。もっと細かい、解像度 30m の写真は、16 日に 1 回しか撮っていない。解像度はこの 40 年で 2 倍～数倍程度良くなっているものの、大きくは変わっていない。最近は軍事衛星で車のナンバープレート

が読めるという話があるが、軍事衛星はある局所的な場所のみを見ているのであり、地球全体をカバーするとなると、どうしても現在の精度になる。

ニュースによく出てくる降雨レーダーによる雨の分布図の解像度は 1km ぐらいだが、衛星から観測しているのではなく、気象庁が全国 20 カ所に設置しているレーダーのデータを重ね合わせて出しているので、地上からのリモートセンシングということになる。

2. 積雪

よくニュースなどで地球温暖化のことが取り上げられるが、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の最新のレポートによると、地球の表面温度が 150 年で約 1℃、海水準（海面の高さ）が 150mm 上昇し、北半球の積雪面積が少し減少している。

表面温度は、過去 100 年間で約 0.7℃、過去 50 年で見ると 100 年当たり 1.3℃と、上昇率が上がってきている。これは、人間が石油を燃やして発生させた二酸化炭素が温室効果によって地球を温めたからだと言う人が多い。そうだとすると、人間はこれからも石油を燃やし続けるであろうから、二酸化炭素は増え続け、温度も上がり続けることが予想される。

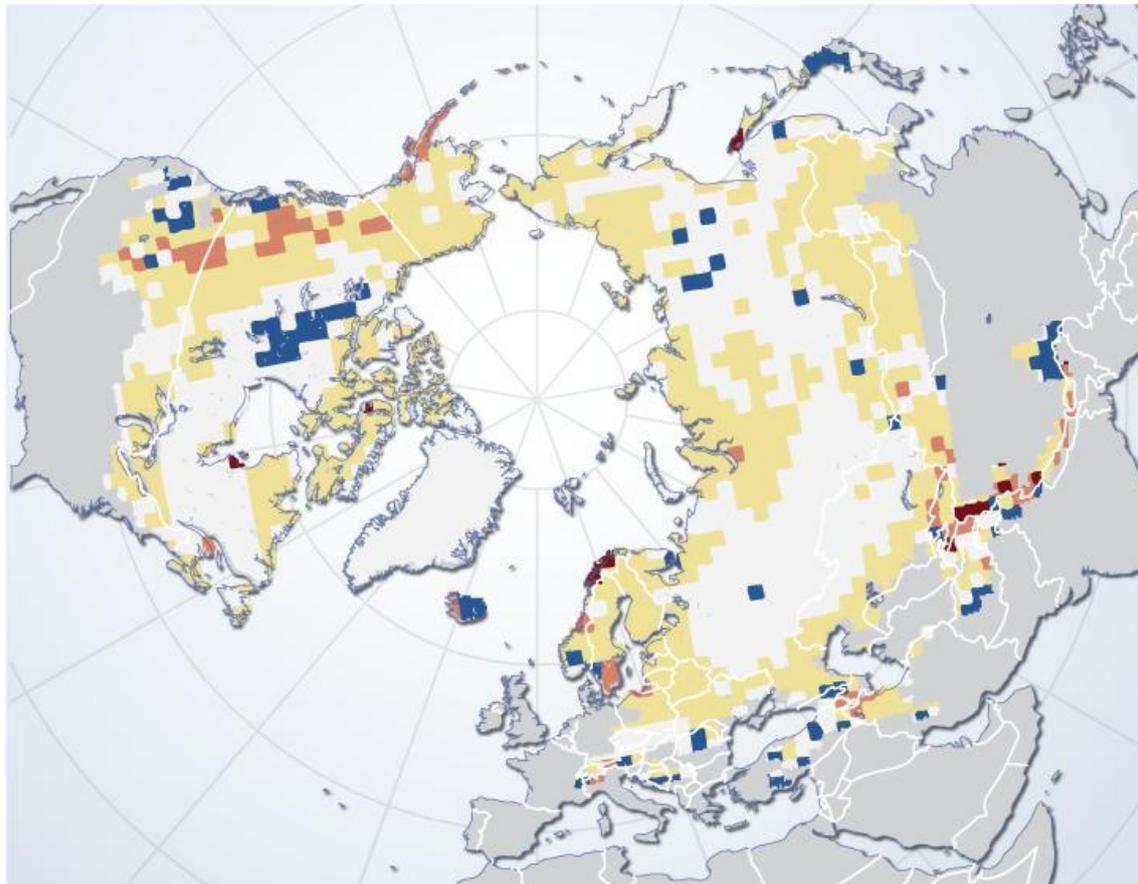
温度が高い空気は、より多く水分を含むことができるので、地球の温度が上昇すると雨や雪が降りやすくなる。ということは、雪が増えるという理屈になるが、温度が上昇すれば雪は解ける。結局、雪は増えるのか、減るのか。北半球の積雪面積を表したグラフでは、少し減っているようにも見えるし、ほとんど変わっていないようにも見える。

1970 年から 2004 年の世界の気温変化を見ると、上昇幅が大きいのはほとんどが北半球の陸地で、南半球の海はそれほど変わっていない。その北半球の陸地に、雪が降るところがある。

では、積雪はどう変化しているのか。衛星から見た雪の面積を基に解析すると、ほとんどのところで 3 月～4 月の平均積雪面積が 1970 年代から 1990 年代にかけて減っている。その中で、北陸や東北の日本海側は雪が増えている。皆さんの実感はどうだろうか。衛星の解析がいつも合っているとは限らないが、そういうデータが一つ出ている。

衛星画像から解析した 1970 年から 2004 年の融雪日の変化を見ると、雪がより早く解けるところが北米などにある。それに対して、日本の富山は雪解けの日が 1 日～3 日程度遅く、

雪が積もっている期間が長くなっている (図 1)。



Observed change in spring snow cover
duration 1970-2004 (days/yr)



図 1. 1970 年から 2004 年の融雪日の変化 (©UNEP/GRID-Arendal)

そもそも北陸から東北の日本海側に雪が多いのは、冬、対馬暖流で温かい日本海の上にシベリア高気圧から寒気が流れ込み、できた雲が高い山に当たって雪として降るからだが、気温と降水量の関係から言うと、北陸は世界でもかなりまれな特徴を持つ地域といえる。世界各地の 1 月の気温と降水量 (降雪量) の関係を見ると、 0°C 以下では温度が高いほど雪が降りやすく、 0°C より高くなるとあまり雪が降らなくなる。ところが、北陸は 3°C ぎりぎりという高い気温にもかかわらず雪がたくさん降る。世界的に見て北陸は積雪地域のほぼ

南限に当たるが、寒気と日本海の影響を受けて、平均気温が高いのに豪雪地帯なのである。

一方、気象庁のデータで 1960 年から 2000 年までの年降雪量の変化を見ると、山形以北のグループはほとんど変化していないか若干増加傾向にあるが、富山を含む新潟以南のグループは 1980 年代半ばから急に減少している。富山だけを取り出しても、やはり 1980 年代半ばから急に減り、最近も雪が少ない。先ほどの衛星画像の解析では雪が増えていて、世界的に権威のある IPCC のレポートにもそう書かれているが、果たしてどちらが本当なのか。

気象庁の富山の測候所で取られているデータによると、1950 年代以降、年平均気温が 1 年当たり約 0.02°C 上昇している。冬期平均気温も同じぐらい上昇している。これを 100 年当りに直すと、 2°C の上昇になる。

世界の平均では 100 年当たり 0.7°C の上昇であるのに対して富山は 2°C ということになるが、実は、これには都市化の影響も入っている。世界の平均は都市化の影響を受けていないところを選び出しているので、富山がずばぬけて温暖化が激しく見えるのは、二酸化炭素のせいではなく、都市化の影響が結構入っているということである。

富山の冬期平均気温と一冬降雪量には、きれいな負の相関関係がある（相関係数 0.87）。なぜかというところまでは分からないが、過去 50 年の気象庁のデータからは、冬の温度が高ければ雪が少ないという関係性がみられるので、今後さらに温暖化が進むと雪がなくなってしまうのではないかと考えられる。

もう少しほかのデータも見てみよう。そもそも北陸で雪が多いのは、冬にシベリアから寒気が吹いてくるからだ。富山で雪が減った 1980 年あたりから、シベリア高気圧が弱まっている。シベリア高気圧が弱まり、温度が上昇し、雪が減っているという関係性があることが分かる。また、富山だけでなく、近くの白馬、飯山、白川の一冬降雪量の観測データを調べてみると、富山は減少しているという統計的な解析結果が出ているが、それ以外のところは特に変化していない。

立山室堂平と富山市の最大積雪深は、富山はこれまでのデータと同じように 1980 年代半ばから減少しているが、室堂平はほぼ変化なしと見ることができる。さらに別のデータによると、富山の降雪量は 50 年間で約 1.5m 減り、立山も 3m ほど減っているが、上市のあたりはそれほど変わっていない。

こうなるといっそう分からなくなってくる。果たしてどうなっているのか。今回、これにお答えするような内容は用意していないが、非常に複雑な現象であることは確かだろう。衛星からの観測は解像度が 1km と粗く、平均値として解析しているので、細かいデータとは言い切れない。ただ、いろいろなデータが出てきていて、それぞれ関係がありそうだといいところまでは分かってきた。

では、ほかの地域ではどうなっているのだろうか。アメリカ合衆国のデンバーの降雪量は、1880 年以降、統計的に有意な変化はしていない。年平均気温、積雪期平均気温ともに 100 年当たり約 1°C の上昇が見られるが、積雪期平均気温と一冬降雪量の間には、富山ほど明確な関係はない（相関係数 0.44）。

北緯 64° のアラスカ州フェアバンクスにおける、1917 年から 1976 年の 2 月の気温と降雪量のデータをプロットしていったものを見ても、気温が上がったからといって雪が減るわけではないことが分かる。先ほど述べたとおり、富山は気温が上がったときに雪が減るといって、世界の降雪地域の中でもかなり特異な地域であり、温暖化すると雪がなくなってしまうのではないかと思えるようなデータになっている。

こうなると、解像度 30m の衛星画像も使っていっそう細かい解析をする必要が出てくる。衛星で雪を見ようとする場合、まず可視光で白いものを見つける。さらに、地上には雪に近い反射を示す白い岩石や明るい砂（砂漠）があるので、人間の目には見えない 1.5 μm や 2 μm の波長も使って雪を区別する。ただし、解像度 30m の画像は 16 日置きにしか撮っていないので、毎日撮っている解像度 1km の画像とうまく組み合わせて、雪が増えていると言っているけれども本当なのかというところを調べていきたいと思っている。

3. 海の温度・クロロフィル

海の状態も衛星画像で見ることができる。特によく見えるのがクロロフィル濃度である。植物が緑に見えるのはクロロフィルという色素が青と赤の光を吸収しているからだが、海の植物プランクトンも同じようにクロロフィルを持っていて、それを衛星から見ることができるのだ。1 月～12 月と通年平均の解像度 1km の衛星画像を 2003 年から 2011 年まで並べてみると、日本海は夏場にクロロフィルが少ない、つまり植物プランクトンが少ないことが分かる。

冬は、大気がまず冷えて海表面を冷やす。水は温かいほど軽く、冷たいほど重いので鉛直対流が起き、海の下の方の栄養塩類が上がってきて植物プランクトンが成育する。夏は、逆に表面の水が温められ、鉛直方向の対流が起きないので、植物プランクトンが少ないのだ。春は、冷えていたものが急に温められて風が吹いて鉛直方向に循環したり、冬場はなかった光を受けることができるので植物プランクトンが増えたりする。いろいろな要因があるが、そういった相互作用で植物プランクトンの量に変化する。

基本的に、植物プランクトンは夏に少なく、春・冬に増えるが、毎年同じような変化をするわけではない。その時々海の流れや気象によって変わってくる。植物プランクトンを動物プランクトンが食べ、それをもう少し大きな生物が食べ、それを魚が食べるので、植物プランクトンの分布から、富山で魚が捕れるのはどういう理由なのかといったことを考えることができる。

富山湾のクロロフィル濃度を見ても、夏に少なく春と秋に多いが、やはり年ごとに違う。これには、海の流れのほか、川の流れも関係している。川が運んできた栄養塩類を植物プランクトンが摂取して増えていくということもあるので、例えば長江にダムを造ったら河口付近で植物プランクトンが増えたとか、韓国で発生した赤潮が海の流れに乗ってどこまで運ばれてきたかというようなことも、衛星画像の解析で分かる。衛星から熱赤外の波長で観測することによって、温度分布も分かる。これは季節変化どころではなく、日々の変化が結構ある。

このような衛星画像は、かつては解像度の粗い方だけが無料で入手できていたが、最近では16日置き解像度30mの画像も入手できる。このような衛星情報を漁業に役立てようと、温度やクロロフィルの分布をリアルタイムで衛星から受信し、どこで魚が捕れるかを解析する会社も出てきている。

4. 黄砂

黄砂は、タクラマカン砂漠、ゴビ砂漠、黄土高原から飛んでくる。日本では、多い年には年間40日も、国内のどこかで黄砂が観測されている。季節的に見ると、圧倒的に春が多い。雪が解けた後、草が生える前に砂が飛んでくるからだが、2010年11月12日は、朝、外に置いてあった自家用車が砂で黄色くなるほど黄砂が飛んできた。秋にこういうことが

あるのかと信じられない気持ちだったが、呉羽山から見た富山市内が黄砂がかすんでいた。
衛星画像でも、砂が飛んでいるのが見える（図 2）。

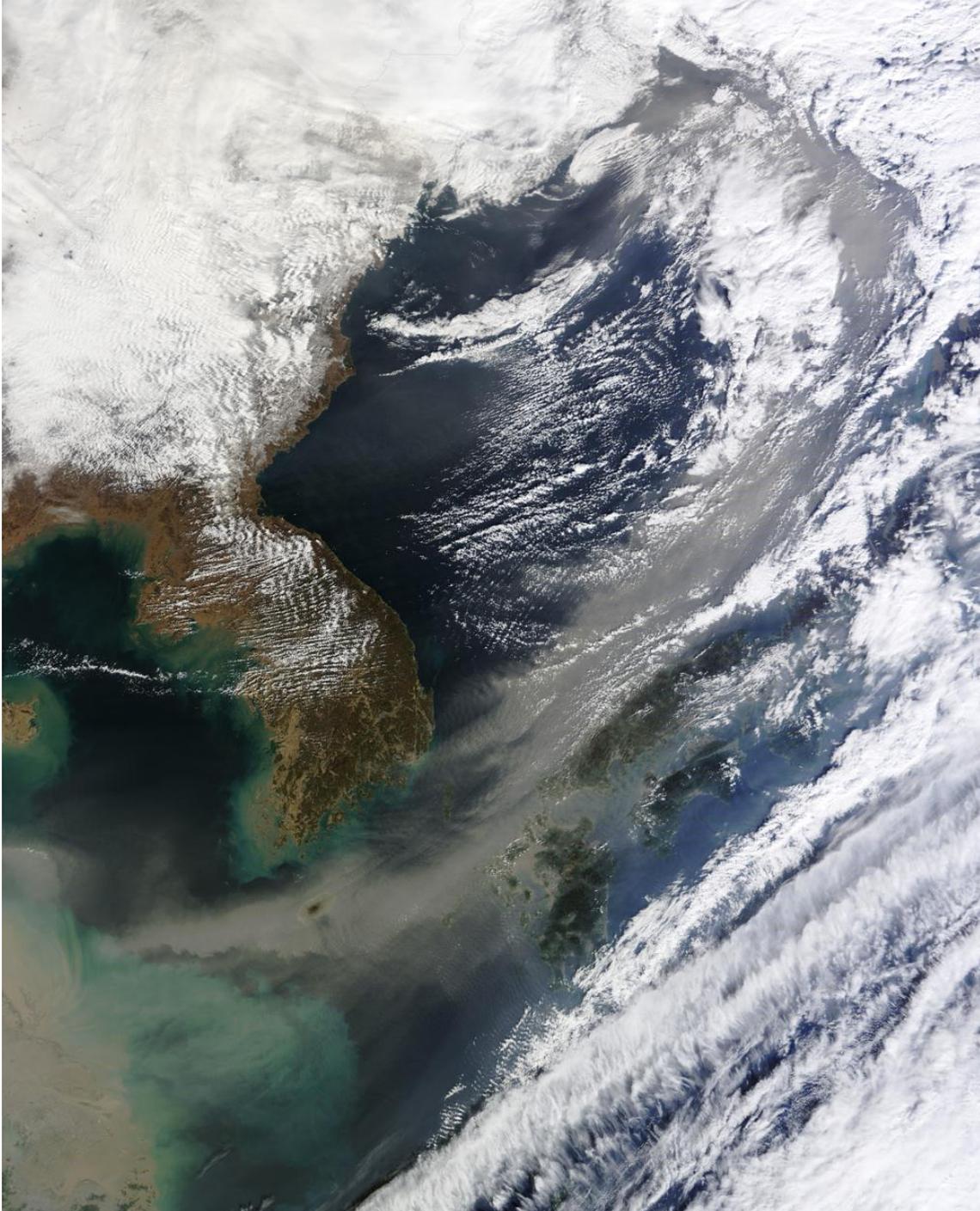


図 2. 2010 年 11 月 12 日の MODIS 画像 (©NASA)

5. 原野・森林火災

私はシベリアで原野・森林火災の研究をしているのだが、2002 年、2003 年には、シベリアで日本の国土面積の約半分に相当する森林が燃えてしまった。アラスカのフェアバンクスは 2 月には -20°C になるところだが、夏に行ってみると火災が結構起きている。1 カ月ぐらい煙がたちこめた状態が続く年も、10 年に 1 回程度ある。

世界のどこで火災がよく起きているか。面積当たりの炭素放出量で見ると、極東ロシアは世界の中でもかなり火災が多い。今はまだそれほど日本に煙が飛んできていないが、より激しくなるという将来予測があり、そうなる则ち黄砂のように煙が飛んでくるのが危惧される。

森林火災は、衛星から熱赤外で火を検知したり、一酸化炭素の濃度を観測することで見ることができる。地球レベルで考えると、一酸化炭素は主として森林火災によって発生しているからである。2003 年に起きたシベリアの森林火災では、シベリアのみならず、北半球を 1 周するぐらい一酸化炭素が広がっていることが衛星画像で観測できる。もちろん、日本海や富山にどのような影響を与えたかということも分かる。

もっと詳しく解析すれば、火災以外の煙、例えば中国の工場が出している煙なども区別がつくし、コンピュータを使って煙がどう広がるかを予想することもできる。東日本大震災の際に、福島原発が出した放射性物質の拡散をコンピュータでシミュレーションするという話があったが、それと同じように、煙を衛星画像で見るだけではなく、その情報を基に広がりやを予想することもできるようになってきている。

6. まとめ

40 年ほど前から衛星で地球を見るということが行われてきたが、毎日見られるものは解像度が 1km ぐらいの粗さになってしまう。16 日に 1 回だと、ようやく 30m 程度の解像度になる。これは過去 40 年でそれほど変わっていない。ただ、宇宙開発が進み、幾つもの同じスペックの衛星を上げることができるようになれば、1 日に 10 回撮ることも可能になるかもしれない。

衛星画像から、積雪面積、黄砂の飛散、海のクロロフィル濃度、地球の表面温度、火災の発生等が分かる。あくまでその時点でのスナップショットだが、うまくつなぎ合わせる

と、その現象がどういうものかが分かってくる。

富山の積雪については、現在のところ、衛星で見ると増えているという報告もあれば、富山市では減っているけれども立山では増えているかもしれないとか、温暖化すると雪がなくなってしまいそうだという話もある。さらに詳しく解析しなければ結論は出そうになるが、そのためには衛星画像でより細かい雪の分布等を知ることが大事になってくる。

海のクロロフィルは、海の流れや気象条件によって変わり、漁業に関係してくる。それも衛星画像で把握することができる。黄砂や原野・森林火災も衛星画像で見ることができるとともに、それがどうなるかをコンピュータで予測することもできる。

もっと長期的な話で言えば、地球レベルで温暖化が進むとどうなるかということも、その基本となるデータは衛星画像から解析することになる。ちなみに、IPCC の最新のレポートによると、世界全体の森林火災で発生する二酸化炭素の量は、人為起源の放出量の 2 割～6 割と非常に多い。森林が元どおりになれば全部相殺されるが、森林火災が頻繁に起きるようになると問題になる。そうした地域レベルのことだけでなく、地球レベルで今後どうなっていくかも、衛星画像を解析することになる。11 月末ごろにもう一度本講座でお話しする機会をいただけるので、そのときは森林火災についてお話ししたい。