

3. 北海道の開拓に伴う地域気候の変化

北海道大学地球環境科学研究所 佐藤 友徳

1. 北海道の開拓と土地利用の変遷

明治維新後、北海道に置かれた北海道開拓使は、当時の北海道を「本道至る処山林ならざるはなし」(開拓史事業報告, 1885)と表現し、さらに北見営林局による『北見営林局史』(昭和 43 年)においても、「和人入植の当初は、喬木うっそうとした森林が到る処にあり」、「千古斧鋏の入らない原始林が多かった」と述べられているなど、開拓以前の北海道は広大な森林に覆われていたことがわかります。また、アイヌ民族は「主なる生活資源は是を天然に仰ぎ、牧畜並に農業に依る生産物は唯其一部を補ふに過ぎなかつた。即ち彼等は殆んど最近迄漁獵民族であつたのである。」(高倉新一郎, 1931) という記述があることから、大規模な農業用地の開発は行われておらず、すなわち、当時の北海道は原始の状態に近い自然植生を保持していたことがうかがえます。

しかし、明治初期以降になると本州からの移民が増加し、北海道開拓使が置かれたことなどから、大規模な開拓・開発が行われるようになり、急速に開発が進められてきました。日清・日露戦争後には、国内産業の大規模な拡大に伴って、農業に加えて林業が急速に発達し、農業用地獲得のための森林伐採だけでなく、紙パルプやマッチ軸木、木炭などの原料獲得のための森林伐採が本格的におこなわれてきたようです。さらに、伐採後の跡地には本来の植生とは異なる種の樹木を植林する動きが相次いだことなどから、北海道の森林の様相は大きく変わってきています。

1990 年代に、国土地理院発行の地形図や歴史的な史料をもとにして、近世末(1850 年頃)、明治大正期(1900 年頃)、昭和中期(1950 年頃)、現代(1985 年頃)における日本全国の土地利用概況が復元されました(図 1)。これによると明治大正期の土地利用概況は、北海道の全面積(78,394 km²)のうち、76.8%(60,294 km²)が森林で占められており、農業的利用が 11.3%(8,865 km²)、都市が 1.2%(981 km²)となります。それに対し、現代では全面積のうち約 71.3%(55,932 km²)が森林、約 16.8%(13,186 km²)が農業的利用、4.2%(3,287 km²)が都市と続き、明治大正期と比較して森林が減少し、都市・農業利用が大幅に増加していることがわかります。さらに、近世末の土地利用概況は、明治大正期における都市・農業利用が全て自然植生(主に森林)であったと仮定することで

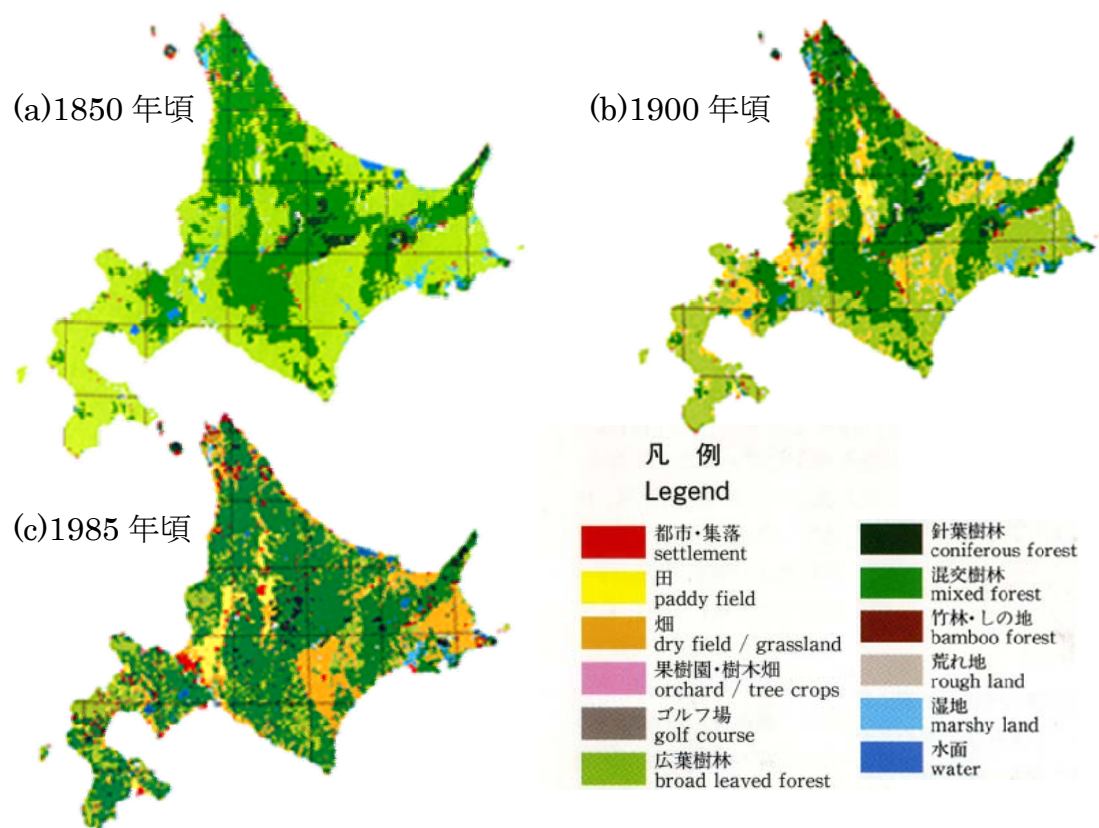


図1：北海道における過去の土地利用の変化。(a)近世末(1850 年頃)、(b)明治大正期(1900 年頃)、(c)現代(1985 年頃)。西川ほか(1995)に加筆。

推定でき、北海道では近世末から明治大正期および現代にかけて、土地利用・土地被覆が大規模に改変されてきたことが定量的に示されるようになりました。

このような歴史的な土地利用の変化は、北海道の気候とどのような関係にあるのでしょうか？ここでは、気象庁による観測事実の紹介に加えて、コンピュータを用いた仮想的な実験の結果を示しながら、土地利用と北海道の気候について考えてみることにしましょう。

2. 気象と土地利用のかかわり

ここでは、北海道の話を進める前に、気象と土地利用の関わりについて一般的な特徴を説明しておきます。人類による土地利用の改変と聞いて、どのような状態を想像するでしょうか？規模の大きなものから小さなものまで様々ありますが、以下にパッと思いついたものを挙げてみます。

- ・ 森林伐採、農地開拓、植林、人為起源の森林火災(植物被覆のコントロール)
- ・ 灌漑・スプリンクラー(河川水、地下水の散布など水循環のコントロール)
- ・ 放牧(動物のコントロール)
- ・ 都市開発、港湾埋め立て(人工物の建設)

これらの土地被覆の改変は次節以降で述べるように、地域の気候や水循環にさまざまな影響をもたらすと考えられます。現代では、当然の物として扱われているものも、人類の文明が発達する前は存在しなかったであろうと考えると、地表面付近の状態はこれまでに大きく変化してきたのだらうと想像することができます。

このように様々な土地利用の状態がどのように気象に影響をおよぼすのかを判断する際の見方として、大きく分けて二つの過程を考えることができます。

- 水や物質の循環を変える
(例)アスファルト面では保水能力が低いために、降水が素早く河川へ運ばれるが、森林では葉に捕捉されたり、土壌から地下水へ取り込まれたりするため、緩やかに河川へ流出されます。また、森林は土砂など物質の流出を抑えたり、大気中の炭素を吸収する働きも備えています。都市では、排ガスや工場の煙突から微小粒子が放出されます。
- エネルギーの配分を変える
(例)土地被覆が変わると地表面の色(アルベド)が変わるため、太陽放射の吸収量が変わります。また、乾いた都市域では水の蒸発にエネルギーを使うことができないため、気温が上昇します。一方森林では、植物の根から吸い上げた水が葉から蒸発(蒸散)するため、気温の上昇が抑制されます。上の例で挙げた水の循環は、エネルギー配分にも関係していることが分かります。

このように、土地利用が変わっただけで気象以外でも様々な分野に関係する事象で変化が生じ、気象に影響することが想像できると思います。ここでは、上記の全ての過程を扱うことはできませんが日々の天気とつながりの深いエネルギー配分の変化による効果を中心に考えます。

3. 気候モデルによる仮想実験

前節で述べたような土地利用変化に伴う様々な効果が、どのようにして北海道の気候を変えるのかという疑問を調べるために、気候モデルを用いて仮想的な実験を行うことが可能です。ここで用いる気候モデルは、基本的に天気予報で用いられる数値モデルと同じ機能をもったものですが、

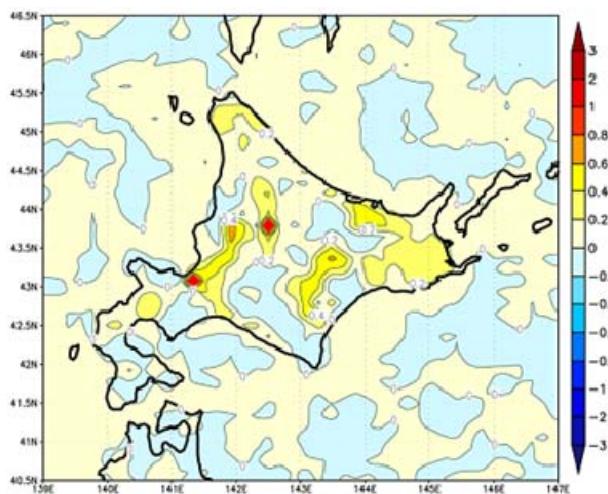


図2：数値実験で推定された近世末から現代への土地利用変化による春の日最低気温の変化。

過去の状況を再現するために、過去の土地利用(図 1a)を条件として与えて日々の気象の計算を1年間行います。また、比較のために、土地利用のデータだけを現在の土地利用(図 1c)に

置き換えた実験も行いました。二つの実験で計算された気象の違いは、土地利用の条件のみに起因するため、過去と現代の土地利用の変化の影響を直接調べることができる、というわけです。

表1に実験によって得られた土地利用変化による気温への影響をまとめました。全道平均した気温で比較すると、図1で示した過去の土地利用変化の影響はほとんどないことが分かります。農地化があった場所では、ごくわずかながら気温への影響があるように見えます。一方、都市化のあった場所では、すべての季節で1℃前後の顕著な気温の上昇があることが分かりました。図2では、気温差の空間的な広がりを示しています。春の日最低気温のパターンを例にみると、やはり札幌や旭川の都市域で非常に大きな昇温があります。また、十勝や根室など農地に改変された場所や、雨竜川、石狩川の流域で気温の上昇が見られ、図1で示した森林から水田へ改変された場所に対応していることがわかりました。

次節では、過去の気象観測データも参照しながら、土地利用変化の影響を調べることにします。

4. 過去の土地利用の変化と地域気候変化の関係

明治以降の急激な開拓と近年の都市化によってどのように北海道の気候が影響を受けてきたのか、気象庁による長期間の観測の結果

表1：数値実験から得られた土地利用変化による平均気温の変化。“全道平均”は北海道内の陸地を平均したもの。“都市へ改変”と“農地へ改変”は、図1において、近年都市または農地へ改変が起こった地域についてのみ平均したもの。“改変なし”は、土地利用の変化が起こっていない場所についてのみ平均した値。

	冬(12~2月)	春(3~5月)	夏(6~8月)	秋(9~11月)	年平均
全道平均	+0.02	+0.01	-0.07	-0.03	-0.02
都市へ改変	+1.29	+0.96	+1.47	+0.99	+1.18
農地へ改変	+0.02	+0.09	-0.12	-0.05	-0.02
改変なし	+0.01	-0.01	-0.03	0.00	-0.01

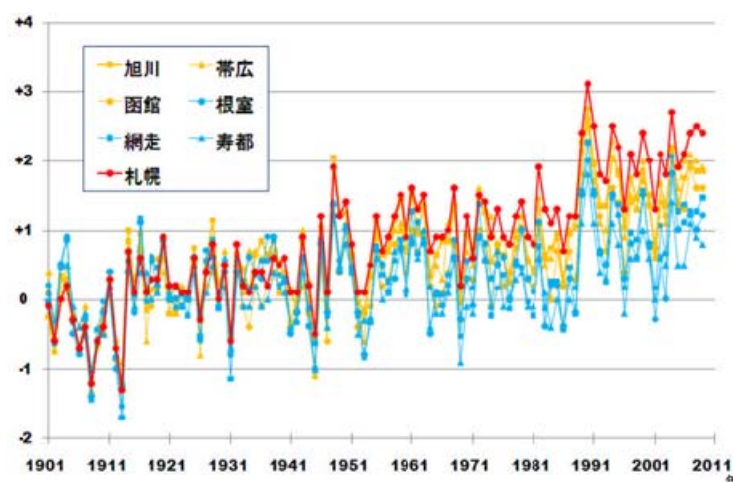


図3：北海道内7地点の気温の長期変化。いずれも年平均値で、1901年～1930年の30年平均値からの差を示す。(札幌管区気象台、函館海洋気象台、2010)

と、シミュレーションによる実験の結果から見てみることにしましょう。

さすがに、明治時代から観測を継続している気象観測地点は非常に少ないですが、幸いなことに北海道の各地域を代表する地点では、気象庁による長期的なモニタリングが行われています。長期間のデータ(図3)を見ると、道内の各地域で約100年の間に、平均気温が上昇していることが分かります。主な理由としては、地球温暖化が挙げられますが、それに加えて数年～数10年周期で変化する自然変動も関係しています(札幌管区気象台, 函館海洋気象台, 2010)。これらは、北海道の土地利用とはほとんど関係なく、北半球あるいは地球全体の規模でみられる長期的な変化です。

一方、道内各地の気温の変化の特徴を比較しましょう。約100年間の気温の上昇幅を見てみると、網走、根室、寿都 << 旭川、帯広、函館 << 札幌 という関係があることが分かるでしょうか。このように、過去約100年の間、各地域で気温の変化傾向が異なる理由として、土地利用の変化が考えられます。特に、図3によると、網走、根室、寿都では、100年の間に年平均気温がおよそ1℃、札幌ではおよそ2℃の上昇が起こっています。このことから、都市域では、地球規模の気温上昇に加えて、同程度の気温上昇が都市化によってもたらされていることが分かります。

北海道における過去の土地利用の変化が気温に与える影響は、ほとんどが第2節で説明した効果で説明できますが、それぞれの地域や季節によって要因が異なっていることや、複数の効果が関連しながら影響していることが徐々に分かってきました。昔と今の気候を比べることは、人為的な開発の歴史と気候変化の関係を調べることになりますが、同時に現在と将来の気候をより良く知るための手がかりにもなります。次節では、地球温暖化と土地利用変化の関連について考えてみましょう。

5. 地球温暖化と土地利用変化

地球温暖化に起因すると考えられる気温上昇は図3で示した通り、これまでの気象観測からも検出することができます。また、大気中の温室効果ガスの濃度は今

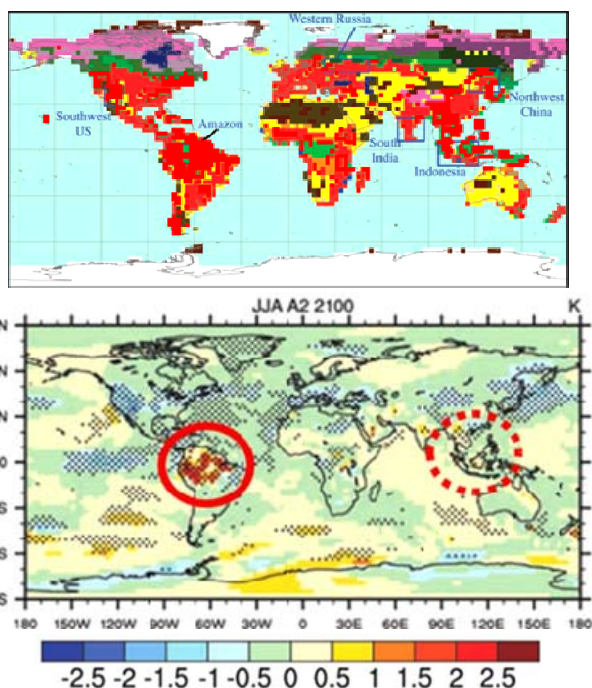


図4：(上)土地利用変化の将来シナリオの例。赤色が耕作地を表す。(下)地球温暖化予測において、将来の土地利用変化を考慮した場合に予想される気温予測の修正値(Feddema et al., 2005に加筆)。

後も増加することが予想されており、現在各国の研究機関で気候予測の研究が行われています。ここでは、地球温暖化プラス土地利用の変化があった場合の気候について考えてみましょう。

図4は、米国の気候モデルによる研究結果の一例です。将来の人口の推移予測や経済発展の予測を指標として、将来の温室効果ガス排出量や食糧供給の観点から農地開拓の程度を見積もることができます。図4上は、ある社会発展のシナリオに基づいて作成された将来の土地利用の分布を表します。世界中の多くの地域で、新たな農地を開拓しなければならないことがわかります。その農地開拓によって将来の気温予測値がどの程度変化するかを示したのが図4の下図です。この研究のシナリオではアマゾンの森林伐採と農地開拓が顕著であり、これに対応して温暖化に加えて生じる気温上昇が1~2℃と見積もられています。しかし、同様に森林伐採と農地開拓が起こると判定された東南アジアでは、土地利用変化による気温増分は非常に小さいことが分かります。これは、二つの地域でもととの気象条件が異なることが原因です。この例からも分かるように、土地利用変化がもたらす気温の変化量は場所によって大きく異なっており、各地域の将来の気候予測を難しくしている要因の一つでもあります。

6. まとめにかえて

北海道では今後どのような影響が考えられるでしょうか。アマゾンや熱帯では、開発によって陸地の色(アルベド)が変わる効果やエネルギーの配分(蒸発量の変化など)が変わる効果が重要な役割を果たしたことが知られています。これに対し、北海道では雪の効果が深く関係すると予想されます。雪面は太陽放射を強く反射するため、陸地のエネルギー収支を大きく変化させます。例えば、地球温暖化が進行し積雪日数が短くなった場合には、雪面の白色で覆われる期間は短くなりますし、陸地が露出する時間が長くなるため現在よりも陸地の状態が大気に反映される易くなる可能性があります。これらは未だ思考の域を超えませんが、このような様々なケースを想定できるような気候予測実験の研究を現在進めておりますので、数年後には結果をご紹介できると期待しています。

謝辞

本資料で述べた結果の一部は、北海道大学大学院環境科学院を平成23年に修了した佐々木智規さんが修士論文で行った研究の内容です。また、数値シミュレーションは、文部科学省の気候変動適応研究推進プログラムの支援を受けて実施したものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 札幌管区气象台, 函館海洋气象台, 2010: 北海道の気候変化 -北海道における気候と海洋の変動-, 86pp (<http://www.jma-net.go.jp/sapporo/kikohenka/kikohenka.html>)

- 西川治, 氷見山幸夫, 新井正, 太田勇, 久保幸夫, 田村俊和, 野上道男, 村山祐司, 寄藤昂, 1995: アトラス -日本列島の環境変化-, 朝倉書店, 187pp.
- Feddema, J. J., K. W. Oleson, G. B. Bonan, L. O. Mearns, L. E. Buja, G. A. Meehl, and W. M. Washington, 2005: The importance of land-cover change in simulating future climates. *Science*, 310(5754), 1674-1678.
- 開拓史事業報告編集纂員編, 1885: 開拓使事業報告, 第1編, 大蔵省.
- 高倉 新一郎, 1931: 北海道アイヌの社會生活, 法經會論叢, 1: 179-195.