



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	森林火災と風の流れ
Author(s)	早坂, 洋史
Citation	実験力学, 14(3), 155-160 https://doi.org/10.11395/jjsem.14.155
Issue Date	2014-09
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57790
Type	journal article
File Information	1410jikken.pdf



森林火災と風の流れ

北海道大学

早坂 洋史

2014年9月別刷

実験力学 Vol.14 No.3 pp. 155~160

日本実験力学会

The Japanese Society for Experimental Mechanics

論文

森林火災と風の流れ

早坂 洋史*

Forest Fires and Wind Flow

Hiroschi HAYASAKA

In 2004, many large-scale fires occurred in Alaska and the burned area encompassed about 26,700 km². This was the largest burned area since 1956, and combined with an additional 19,000 km² burned in 2005 (third-largest fire year), the total burned area comprised about 10% of the Alaskan boreal forest in just two years. To clarify the background of the many large-scale fires in 2004, spatial and temporal analyses using various data were performed in this paper. The derived results allow the following conclusion. Dry and warm weather conditions with strong persistent winds are crucial for fires. In 2004, easterly winds from Canada caused two daily hotspot peaks in late June and late August; one daily hotspot peak in mid-July was caused by southwesterly winds from Bethel or the Bristol Bay. These persistent winds lasted for about one week and promoted fire expansion. The above wind conditions in June and August were caused by the development of a high-pressure system over the Beaufort Sea under a persistent blocking ridge over Alaska.

Key words: Large-scale Fire, Wind, Fire Weather, Drought, High Temperature, Hotspot, Climate Change

1. 緒 論

急激な気候変動下、地中海性気候の森林や原野での火災が 21 世紀になり頻発してきている。記憶に新しい所で、2007 年 8 月のギリシャ、2007 年 10 月の米国加州南部、2008 年 7 月の米国加州北部、2009 年 2 月の豪ビクトリア州での火災などである。中でも、死者 200 名を越す大火災となった、豪ビクトリア州での火災は、世界から注目された。著者は既にこれらの火災について、風などの気象条件などとの関連性を分析し報告済み¹⁾である。豪ビクトリア州の火災では、最大風速 31.9ms⁻¹が観測されており、米国加州の火災では、サンタアナ風と呼ばれる局地風との関連が指摘されている。

中緯度帯の火災に比べ、高緯度での火災としては、2010 年 6~8 月のモスクワ郊外の原野（泥炭）火災などがニュースとなり、着目された。一般的に、高緯度帯に広がる北方林、通称タイガでの森林火災については、森林の天然更新の一プロセスとされ、また、人口密度も低く、被害が限定されていることから、あまり報道されることもない。しかし、北方林は、世界の森林面積の 1/3 を占め、夏期の間、平均で 300 mm 以下と降雨量が少なく、火災の危険性が高く、種々の観点からの研究がなされている。Campbell ら²⁾は、最近の気候変動と連動した暖かい乾燥した夏の傾向から、北方林での火災の数と規模の増加を予測している。森林火災に伴って放出される大量の二酸化炭素などの温暖化ガスの事を考慮すると、地球温暖化防止の観点からも、北方林での森林火災発生傾向の把握は重要である。

最近の火災事例は、北方林での森林火災が深刻さを示している。2002 年にシベリア・サハ共和国の首都ヤクーツク

周辺で³⁾、大火災が発生した。焼損面積は約 23,000km²で、1955 年以来最大であった。2003 年には、バイカル湖の東西両側の地帯などで、大火災が発生し、200,000km²以上が燃えたと言われる。2004 年には、米国アラスカ州で大火災が発生した。例年の数倍の雷が発生し、森林に火を付け、多くの火災が日照り下で燃え続け大規模化した。最終的に、火災は、1956 年からの観測史上、最大の焼損面積（約 26,700km²、北海道の面積の 30%）を記録した。2005 年には、2 年連続でアラスカが燃え、焼損面積は約 19,000km²に達し、2 年連続の大火災の焼損面積の合計は、アラスカ森林面積の約 10%におよんだ⁴⁾⁵⁾。

本論文では、北極圏近傍のアラスカ内陸部での森林・原野火災について、ホットスポット（火災）と気象のデータ、さらに衛星画像も使用して、火災の活発化と風の流れの関係について考察を加えた。

2. 研究対象地域とデータ

2. 1 アラスカの概要

アラスカは米国の州の中では一番大きく、北米大陸の最北西部に位置する。アラスカは、Fig.1 に示すように、北緯 58° ~ 71°、西経 141° ~ 166° に位置している。アラスカの森林は、ブルックス山脈とアラスカ山脈で囲まれた内陸アラスカに主に広がっており、一部はブルックス山脈南側の北極圏内に存在している。内陸アラスカの中心都市フェアバンクスは、北緯 64.8°、西経 147.9° 付近に位置している。アラスカの森林面積は約 460,000 km²で、森林は主に黒トウヒ、白トウヒ、ポプラ、樺の木、水苔、地衣類で構成されている。アラスカの森林火災は、雷での着火後、降雨量が少ないことから、林床の水苔や泥炭層でくん焼により長期間継続する。くん焼は場合によっては、雪氷下で越冬する。くん焼は、気象条件が火災に適した、高温、

原稿受付 2014 年 6 月 6 日

* 北海道大学大学院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 西 8)

低湿度、強風となると、所謂、樹冠火（木の樹冠以上に炎が大きくなる状態）を生じさせ、さらには、火災風や飛び火などにより、大きく燃え広がる。このため、以下に述べる2004年のように、6月に燃え始め8月まで燃え続けることで、焼損面積が1,000km²を越すような大火災が多数発生する。

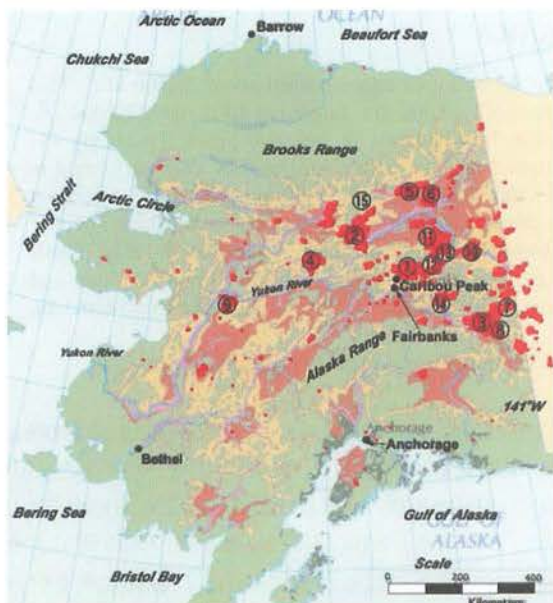


Fig. 1 Study area and distribution of hotspot (fire) and fifteen largest fires in 2004

2. 2 火災、気象、衛星画像のデータ

火災データは、アラスカ森林火災局(AICC : Alaska Interagency Coordination Center)が所有する、1956年からの森林・原野火災のデータ⁶⁾と米国観測衛星により検知されたホットスポット(以下、HSと略す)データ⁷⁾を使用した。AICCのデータでは、主に、火災発見日、最終焼損面積、火災原因(雷・人為)を使った。HSデータは、NASA website(URL5)から入手でき、毎日の火災挙動を分析した。なお、HSデータには、カナダとの国境、西経141°付近の火災を評価するため、国境より少し東側の西経140°までを含めた。Fig.1には、2004年の全HSの62,527個の分布を示してある。但し、小さな火災も把握出来るように、実際の1個のHSの大きさ、1km四方よりは多少大きめに示した。Fig.1中の数字は焼損面積が大きな方から数えた2004年の15大火災の位置を示している。2004年は9番目までの火災が焼損面積1,000km²を越えた。特に1番の焼損面積の火災は、Boundary Fireと呼ばれ、焼損面積は2,176km²に達した。

気象データは、フェアバンクス北東約40kmに位置するCaribou山頂付近(標高773m、北緯65.18°西経147.50°)で計測された時間データをAICCより入手し、風向と風速の他、気温と相対湿度を分析した。

衛星画像データは、NASA website⁸⁾(URL5)から入手し、火災から発生している火災雲の映像から、風向、風速、火

災挙動などを把握した。

3. 分析結果

3. 1 アラスカの森林火災の歴史と発生傾向

1956年から2013年の58年間の雷が原因の火災による年間焼損面積を大きな順からFig.2に示した。Fig.2より、焼損面積が5,000km²を越すような、所謂、火災年は11回あり、他の年の焼損面積と比べて際立って大きいことが見てとれる。11大火災年の発生傾向を見ていくと、1950年代から1980年代までは、10年に1回程度(1957,1969,1977,1988年)であったものが、1990年頃からは、10年に3~4回程度(1990年代:1990,1991,1997年,2000年代:2002,2004,2005,2009年)と頻発している傾向が見てとれる。さらに、3大火災年の焼損面積は、他の8大火災年の平均である約9,000km²の2倍以上であることがわかる。この内、2004と2005年の火災に関しては、衛星画像で複数の火災の煙のたなびきが特定方向であったことから、風の関与が示唆されており、以下では風に着目した解析を行った。また、2004と2005年の燃え方の違いも比較検討した。

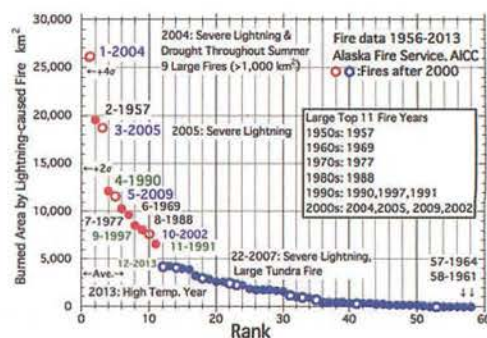


Fig. 2 Fire history in Alaska by size of burned area (1956-2013)

3. 2 2004年の火災と風

2004年の火災傾向は、Fig.3に示したホットスポットHS数の日毎の変化を使って把握できる。Fig.3のX軸は、1月1日よりの日数(Day Number,以下DNと略す)を表している。Fig.3から、HS数(赤色折れ線で示す)3,000個を越すピークを有する顕著な火災期が3回あったことがわかる。

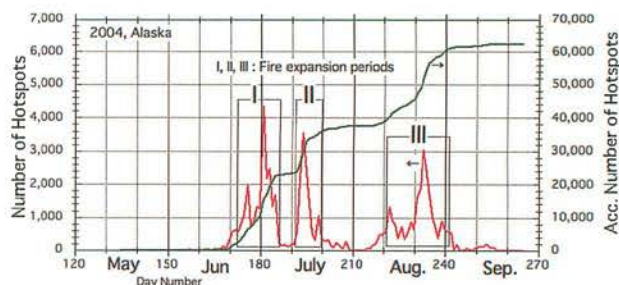


Fig. 3 Fire expansion periods in 2004

ここでは、6 月下旬から 7 月上旬の火災期を火災 I 期、同様に 7 月中旬は火災 II 期、8 月中下旬は火災 III 期と呼ぶこととした。2004 年の HS 最大個数は、火災 I 期 DN=181 に検出された 4,325 個であり、火災 II 期 DN=194 の 3,521 個、火災 III 期 DN=233 の 3,053 個がこれに続いた。Fig. 3 中には HS の積算曲線 (Accumulated Number of Hotspots, 緑色折れ線で示す) も示しており、曲線の傾きからも各火災期の活発さの程度が把握できる。

3. 2. 1 2004 年火災 I 期

火災 I 期の DN=181 の衛星画像を Fig.4 に示した。Fig.4 は南北をアラスカ山脈とブルックス山脈で囲まれた、アラスカ内陸部の映像で、赤い色が HS である。Fig.4 の番号は、焼損面積の大きな火災を順に数字 1~8 で表しており、Fig. 1 と同じ番号を使っている。Fig.4 より、各火災からの火災雲が風で流されている様子が見てとれ、風向はカナダ方面からの東寄りの風であることがわかる。

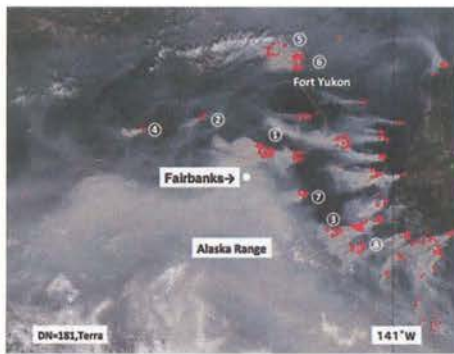


Fig. 4 Satellite image (Hotspot peak on DN=181, 2004)

2004 年火災 I 期の Caribou 山で観測された気象データから、風速、風向を Fig.5 に、気温と相対湿度を Fig.6 に示した。Fig.5 と Fig.6 から、DN=181 (HS ピーク日) の前々日の DN=179 頃から、風向が一定方向の東北東となり始め、相対湿度も 40%以下となる傾向がみられ、特に DN=181 には 20%近くまで低下した。風速は DN=181 の夕方には 7ms-1 に達した。なお、砂埃が舞い始める風速は 5ms-1 とされている。この一定方向の風向きで、風速も速く、乾燥した状態は DN=183 まで継続した。この気象条件下で、DN=181 に HS 数 4,325 個が観測された。

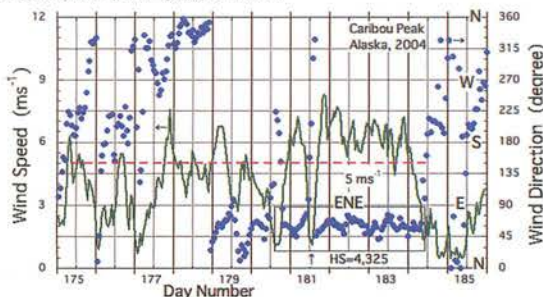


Fig. 5 Wind direction and speed during fire expansion period I (DN=175~185, 2004)

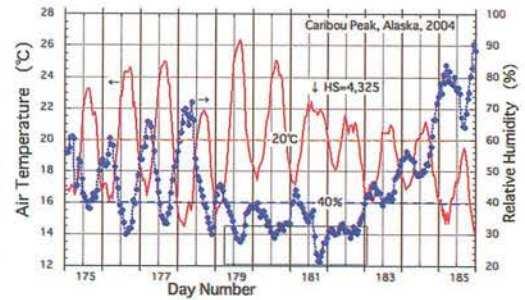


Fig.6 Temperature and relative humidity in fire expansion period I (DN=175~185, 2004)

3. 2. 2 2004 年火災 II 期

火災 II 期の DN=194 の衛星画像を Fig.7 に示した。Fig.4 では確認できなかった、9 番目の大火災が左端中央に確認できる。Fig.7 の火災雲は、アラスカの卓越風の風向である、西寄りの風で形成されていることがわかる。9 番目の火災雲からアラスカ内陸部には、**南東**方向からの風が吹き込んでいると言え、ベーリング海峡方面からの西風ではない。

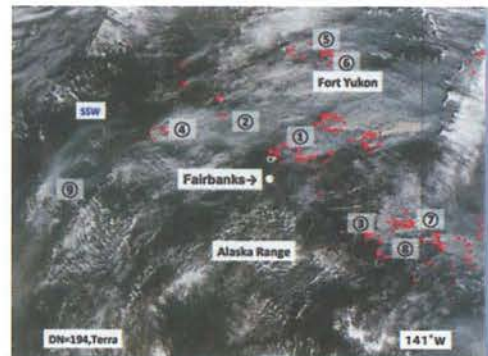


Fig. 7 Satellite image (Hotspot peak on DN=194, 2004)

2004 年火災 II 期の風速、風向を Fig.8 に、気温と相対湿度を Fig.9 に示した。Fig.8 と Fig.9 から、DN=194(II 期の HS ピーク日)の前日 DN=193 の午後から、風速が 8 ms-1 を越えるような南寄りの風が吹き始め、これに伴い、気温も上がり始め、相対湿度が低下した。DN=194 の午後には、南西の風で風速が約 9 ms-1 で、気温 25°C、相対湿度約 20% となり、HS 数が 3,521 個に達した。

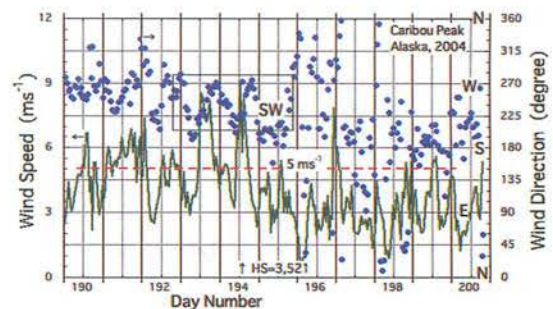


Fig. 8 Wind direction and speed during fire expansion period II (DN=190~200, 2004)

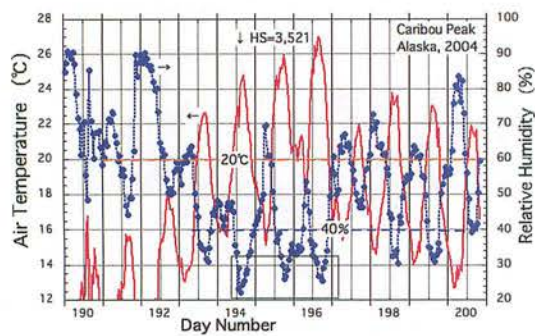


Fig. 9 Temperature and relative humidity in fire expansion period II (DN=190~200, 2004)

3. 2. 3 2004 年火災 III 期

火災 III 期の DN=233 の衛星画像を Fig.10 に示した。III 期では特に 2, 3, 8 番目の火災が活発化した。火災雲から、火災 I 期と同様にカナダ方面からの東寄りの風であることがわかる。

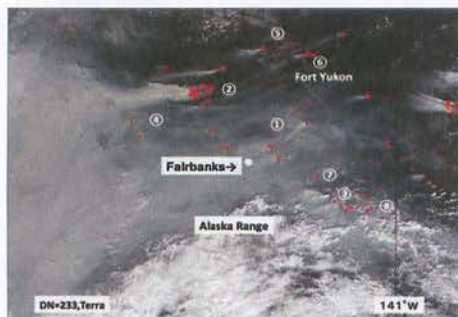


Fig. 10 Satellite image (Hotspot peak on DN=233, 2004)

2004 年火災 III 期の風速、風向を Fig.11 に、気温と相対湿度を Fig.12 に示した。Fig.11 と Fig.12 から、DN=233(III 期の HS ピーク日)の前日 DN=232 から、風速が 5 ms^{-1} を越えるような東北東(ENE)の風が吹き始めた。DN=233 の午後には、東北東の風が風速約 8 ms^{-1} で、気温 22°C 、相対湿度約 46% の条件下で、HS 数が 3,053 個を観測した。

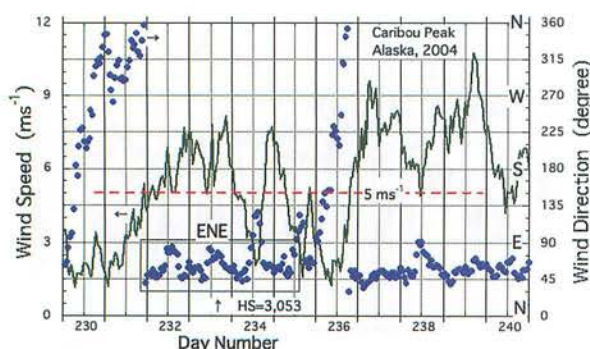


Fig. 11 Wind direction and speed, and relative humidity during fire expansion period III (DN=230~240, 2004)

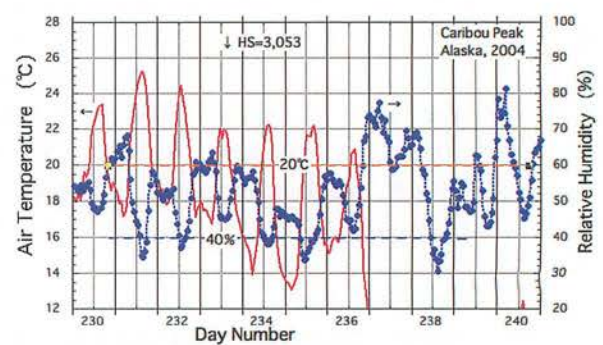


Fig. 12 Temperature and relative humidity in fire expansion period III (DN=230~240, 2004)

3. 3 2005 年の火災と風

2005 年の火災傾向を HS の日データ数と積算曲線で Fig. 13 に示した。比較のために、2004 と 2009 年の HS 積算曲線を Fig. 13 中に加えた。2005 年は 8 月中旬に HS 数 3,000 個を越していることがわかり、2005 年の火災期は 8 月中旬と言える。2005 年の HS 最大個数は、8 月中旬の HS 数は、DN=226 の 5,191 個で、DN=227 の 4,032 個、DN=222 の 3,428 個であった。2005 年の HS ピーク値約 5,200 個と 8 月中旬の火災期の HS 総数約 32,000 個(=52,000-20,000, Fig. 13 中の HS 積算曲線からの概数)は、2004 年の約 4,300 個と 6 月下旬の火災 I 期の約 24,000 個と比べると、どちらの値もかなり大きい。このことから、2005 年は 8 月中旬の火災期に短期間に激しく燃えた、と言える。また、焼損面積が第 5 位の 2009 年 (Fig.2 参照) は、Fig. 13 中の HS 積算曲線から、7 月上旬から 8 月上旬の約 30 日間で、HS 総数約 24,000 個の顕著な火災期のない火災年であった。つまり、2004 と 2005 年の火災は特異な激しい燃え方だったと言える。

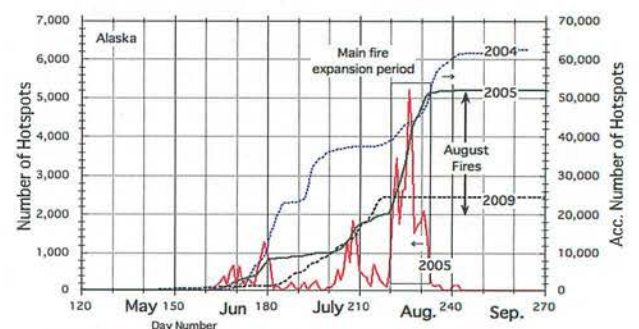


Fig. 13 Fire expansion periods in 2005

2005 年火災期の DN=222 と 226 の衛星画像を Fig.14 と 15 に示した。Fig.14 からは、フェアバンクス南東から南寄りの風がアラスカ内陸部に流入し、フェアバンクス付近では西寄りの風になっている状況が把握できる。Fig.15 からは、4 日後の DN=226 にはカナダ方面からの東寄りの風が吹き込んでいることが把握できる。

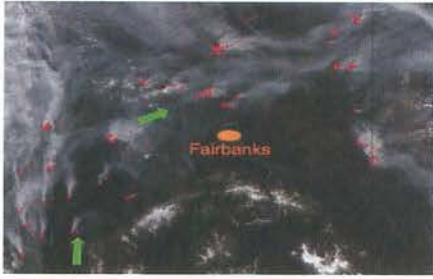


Fig. 14 Satellite image (Hotspot peak on DN=222, 2005)

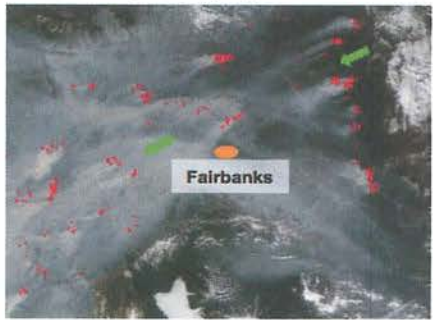


Fig. 15 Satellite image (Third hotspot peak on DN=226, 2005)

2005 年の火災期の風速, 風向を Fig.16 に, 気温と相対湿度を Fig.17 に示した. Fig.16 と Fig.17 から, DN=222(HS 第 3 位ピーク日)の前日 DN=221 から, 風速が 5 ms^{-1} を越えるような東北東(ENE)の風が吹き始めた. DN=226(HS 第 1 位ピーク日, 5,191 個)の午後には, 東北東の風が風速約 8 ms^{-1} で, 気温 22°C , 相対湿度約 46%の条件下で, HS 数が 5,191 個を観測した.

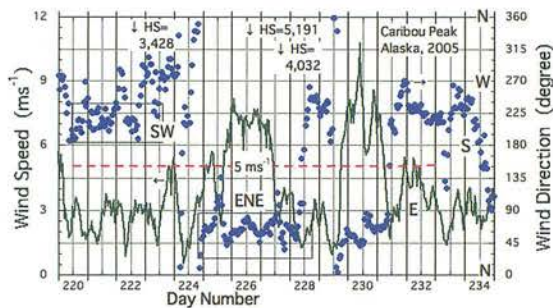


Fig. 16 Wind direction and speed during fire expansion period (DN=220~234, 2005)

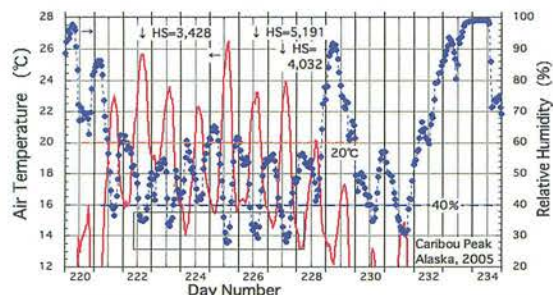


Fig. 17 Temperature and relative humidity in fire expansion period (DN=220~234, 2005)

4. 風の背景

4. 1 2004 年火災 I・Ⅲ期の北極海の高気圧

2004 年の火災 I とⅢ期ではボーフォート海に高気圧が発達し, これに伴いカナダ方面から東寄りの風がアラスカ内陸部に吹き込んで, 火災を活発化した. この様子は, Fig. 4 と 10 の衛星画像で確認できる. Fig. 18 に 1000hPa の気圧高度を示した⁹⁾. Fig. 18 から, アラスカ北部のボーフォート海の高気部とアラスカ内陸部とは, 比較的大きな気圧高度の差があり, 東寄りの風の吹きやすい気象条件となっていたことがわかる.

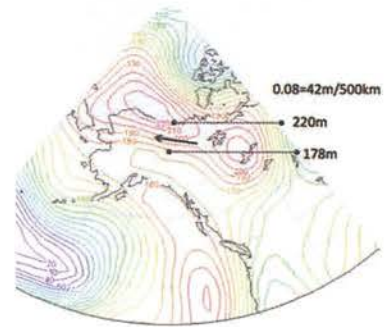


Fig. 18 Mean height (m) at 1000 hPa (DN=181, 2004)

4. 2 2004 年火災期の気圧の尾根

2004 年はアラスカ上空に 5~7 月の約 3 ヶ月持続した気圧の尾根が発達していた事が報告されている⁹⁾. Fig. 19 に 2004 年 6~8 月 500hPa での 3 ヶ月平均高度偏差図¹⁰⁾を示した. アラスカ上空に形成された気圧の尾根は Fig. 19 中に破線で示した. 気圧の尾根の発達, は, 近年の北極域での海水の急激な減少に伴う, ジェット気流の蛇行や衰退に関連していると推測されている⁹⁾. 近年のアラスカでの森林火災の活発化に少なからず関連しているようである.

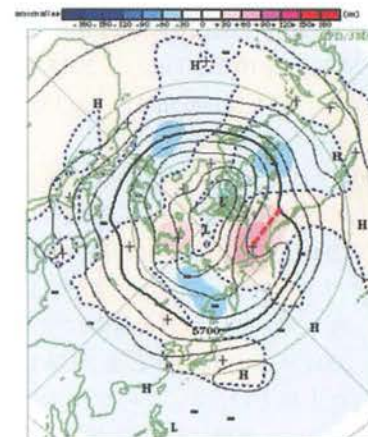


Fig. 19 Three-month mean height anomaly from June to August in 2004

4. 3 2004 年火災期の高層での高温

Fig. 20 に 2004 年 6~8 月 850hPa での 3 ヶ月平均温度偏差図を示した。アラスカ上空には、赤色の部分が広がっており、赤色の濃さから、平年と比べ 3℃以上の高温域が広がっているのがみてとれる。ここでの高温は雷活動と強い相関があることは、既に報告済みである⁵⁾。

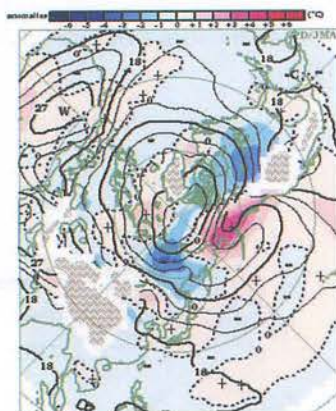


Fig. 20 Three-month mean 850-hPa temperature anomaly from June to August in 2004

5. まとめ

米国アラスカ州における森林火災におよぼす風の流れについて、種々のデータを基に分析した。この結果、2004 年と 2005 年の激しい火災は、アラスカの森林火災での致命的な風の条件を明確に示していた。つまり、カナダ方面からの東寄りの風 (Fig.4,10,15) とアラスカ南東部からアラスカ内陸部に吹き込む南寄りの風 (アラスカ内陸部では西寄りの風, Fig.7,14) である。これらの風向きの風は、風速が比較的速く、また比較的高温で低湿度であり、この風が数日間吹き続くことで、火災は活発化した (Fig.3,5,6,8,9,11,12,13,16,17)。2004 年と 2005 年の火災の激しさは、ホットスポットの日発生数で示す事ができる (Fig.3,13)。Fig. 13 から、第 5 位の火災年である 2009 年の値、約 800 個/日 (≒約 24,000 個/30 日) と比べても、2004 年は 6 月火災期で約 2,400 個/日 (≒約 24,000 個/10 日, Fig.3), 2005 年は 8 月火災期で約 2,700 個/日 (≒約 32,000 個/12, Fig.13) と 3~4 倍の違いがあることから把握できる。

最後に、2004, 2005 年の大きな焼損面積と人為的に行なわれる消火活動との関連性について記述しておく。Web 上に残っている 2004 年のアラスカの消火活動の人員数としては、『2004 年 7 月中旬の火災ピーク時には約 2,700 名 (内米国本土から約 1,500 名) が消火活動に従事していた』¹¹⁾ がある。また、2004 年最大の焼損面積 2,176 km² の Boundary Fire と呼ばれた火災では、フェアバンクスへの火災の進行を食い止めるために、重機による防火帯が設置されるなどして、Boundary Fire は 2004 年火災 II 期で鎮火したことも知られている。このような消火活動にも拘わらず、2004 年

は最終的に過去半世紀で最大の焼損面積の火災年となった。これらの事から、2004, 2005 年のアラスカの火災は件数や規模で、アラスカの消火能力の限界を超えたもので、2004, 2005 年の消火活動は本論文の結論や論文中の一連のデータには、ほとんど影響しない、と言える。

以上から、アラスカの近年の激しい森林火災は、急激な気候変動下で発生していると推測され、地球規模の風の流れの変化によるものとも言える。さらに、大規模な森林火災からは、大量の地球温暖化ガスの CO₂ が排出されるので、本研究結果などを基に、森林火災の具体的で有効な低減策、消火に頼らない、防火帯の構築や計画的火災 (Prescribed fire)¹²⁾ などの策を検討する必要がある、と言える。なお、森林火災は天然更新の一過程であるので、生態系の持続を考える必要がある。詳しくは火と地球、火と人類との長い歴史¹³⁾ を参考にしていきたい。米国ではこの火との関わりを無視し、完全消火時代での苦い経験を経て、大規模火災を防ぐ、火災予防主体の体制を整えてきた。急激な気候変動下の現在は、新しい火災戦略¹⁴⁾ に移行しようと模索している。高緯度地帯の人口密度は小さいものの、北方林は、世界の森林面積の 1/3 を占めている。ここでの大規模な森林火災と、人類がどう取組むかは、地球全体の生態系や環境問題などとの関連で、重要な研究課題の一つであることを、本論文から再認識していただきたい。

謝 辞

本研究の一部は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と国際北極圏研究センター (IARC) の支援を受けた。ここに付記して謝意を表す。

参 考 文 献

- Hayasaka, H.: Preliminary Report on Recent Forest and Wildland Fires in Mediterranean Climate Zone (in Japanese), *J. Japan Association for Fire Science and Engineering*, 59-2 (2009), 19-24.
- Campbell I. D. and Flannigan, M. D.: Long-Term Perspectives on Fire-Climate-Vegetation Relationships in the North American Boreal Forest, *Ecological Studies* 138, Springer (2000), 151-172.
- Hayasaka, H.: Recent Vegetation Fire Incidence in Russia, *Global Environmental Research*, AIRIES, 15-1 (2011), 5-13.
- Farukh, M.A., Hayasaka, H. and Kimura, K.: Recent Anomalous Lightning Occurrence in Alaska - the Case of June 2005-, *J. Disaster Research*, 6-3 (2011), 321-330.
- Farukh, M.A., Hayasaka, H. and Kimura, K.: Characterization of Lightning Occurrence in Alaska Using Various Weather Indices for Lightning Forecasting, *J. of Disaster Research*, 6-3 (2011), 343-355.
- Alaska Interagency Coordination Center, <http://fire.ak.blm.gov>
- NASA's Earth Observing System, <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms/active-fire-data>
- NASA's Earth Observing System, <https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/rapid-response/modis-subsets>
- NCEP/NCAR Reanalysis 1: Pressure, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.pressure.html>
- Japan Meteorological Agency, http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/db/diag/db_hist_mon.html
- 2004 Wildland Fire Season Summary, AMQA, Air Quality, DEC, State of Alaska, https://dec.alaska.gov/air/am/2004_wf_sum.htm
- Prescribed fire, <http://www.fs.fed.us/fire/management/rx.html>.
- Pyne, S.J., *Fire, A Brief History*, University of Washington Press (2001).
- The National Strategy, Jewell, S., and Vilsack, T. J. (2014). <http://www.doi.gov/news/loader.cfm?csModule=security/getfile&pa geid=526008>