

1 調査研究報告

(1) 富山県における地球温暖化に関する調査研究

— 富山県内における不快指数の変化 —

源 将 初鹿 宏壮 相部 美佐緒 近藤 隆之

不快指数について、各月の平年値やその変化傾向を調査した。不快指数とは蒸し暑さを数量的に表した指標で、気温と湿度が高いほど不快指数が高くなり、不快指数が 75 を超えると不快さを感じるといわれている。不快指数が特定の時刻に 75 を超える積算日数をその時刻の不快日数とすると、深夜 3 時の涼しい時間帯でも不快日数がこの 50 年で約 18 日も増えており、寝苦しい夜が増えていた。また、不快指数は、近年に増加傾向がみられ、特に梅雨明けや残暑の時期に顕著であった。最近の気温は増加傾向、湿度は減少傾向にあり、温暖化と都市化の双方に影響を受けていると推測されるものの、湿度よりも気温の方が不快指数に与える寄与が大きいため、不快指数は増加傾向となっていた。

1 はじめに

地球温暖化の影響は自然環境や生活環境等、様々な分野に現れるといわれ、その調査研究は世界的に行われている。しかしながら、これらの多くが地球規模の包括的な視点から行われるシミュレーション研究であり、「待ったなし」といわれている温暖化対策を進めるうえで、地域レベルの観測資料を用いた身近に現れる温暖化傾向に関する研究とその成果の活用が期待されている。

このことから当センターでは、富山県民による温暖化防止活動に関する取組みや様々な分野での適応策・予防策に活用するために、富山県内に見られる自然環境や生活環境に対する温暖化影響についての研究を平成 18 年度から推進している。これまでに得られた成果（初鹿ら、2008, 2009, 2010）の一部は、パネル化して市町村や環境団体に貸与して、各種の環境イベント等で活用されている。

地球温暖化による気温の上昇や都市化によるヒートアイランド現象などの影響により、近年は暑さが増す傾向にあり、熱中症の発生などが懸念されている。人が暑さを感じる際には、気温以外の効果も影響することから、生活するうえで役に立つ幾つかの生理的な指標が存在している。この報告では、その中の不快指数を用いて、近年の変化傾向を報告する。

2 方法

2-1. 不快指数とは

不快指数は、もともと米国で冷房設計用に開発された指標と言われており、

$$0.81Td + 0.01H(0.99Td - 14.3) + 46.3$$

で表される。このうち Td は乾湿温度計において乾球側の示す空気の乾球温度(°C)であり、 H はある気温で大気中に含まれる水蒸気の量をその温度の飽和水蒸気量で割った相対湿度 (%) である。

表 1 に示すように、不快指数とその感じ方は、不快指数が 70～75 で不快感を抱く人が出始め、75～80 で半数以上が、80～85 で全員が不快と感じ、85 を超えると我慢ができなくなるとされる。また、逆に寒くても過ごしにくくなり、55～60 では肌寒く、50～55 では寒く、50 以下では寒くてたまらなく感じる。上式から、夏のように温度の高い時には湿度の高さが不快感の原因になる一方、冬の寒い時は、湿度がある方が暖かく快適に感じる事が分かる。ただし、不快指数は直感に訴えて理解し易く、容易に求め得るなどという利点を有しているものの、人体からの放熱に大きな影響を与える気流や輻射を考慮していない。また、国籍や居住地域によって感じ方が異なるほか、特に冬季は、寒さが服装により克服することができることから必ずしも万能な指標ではない。

表 1：不快指数と感じ方

| 不快指数 | 感じ方 |
|-------|--------------|
| 85～ | 暑くてたまらない |
| 80～85 | 全員が不快を感じる |
| 75～80 | 半数以上が不快を感じる |
| 70～75 | 不快感を持つ人が出始める |
| 65～70 | 快適 |
| 60～65 | 何も感じない |
| 55～60 | 肌寒い |
| 50～55 | 寒い |
| ～50 | 寒くてたまらない |

2-2. 使用データ及び有意性検定手法

Td 及び H については、富山地方気象台の気温及び相対湿度の時間値データを用いた。50 年分(1961 年～2010 年)の時間値が存在するのは、3 時、9 時、15 時、21 時であるため、解析にはこの 4 つの時間を使用し、そのうち特に 3 時と 15 時の不快指数を夜間と昼間の暑さや寒さの

目安とした。

ここではまず、各月の平均的な不快指数とその変動幅を示し、不快指数でみた年サイクルを議論する。そののち各日の不快指数から月ごとの経年変化傾向を解析し、どの時期に不快指数が変化しているかを議論する。さらに各月で特定の時刻帯に不快指数 75 を超える日を積算したものをその時刻の不快日数とし、その変化傾向を調査した。これらの変化傾向は、各バラツキが正規分布であることを仮定して直線回帰により求め、変化の有意性を Student-t 検定を用いて解析した。

3 結果及び考察

図 1 は各月の 3 時(夜中)と 15 時(昼間)の不快指数について、1961 年～2010 年の 50 年平均値及び経年変動の上位及び下位 10% 値を示す。初鹿ら(2010)で示すように、平均的には昼間の気温が夜中の気温と比較して 6℃～10℃ほど高いことから、年間を通じて 15 時は 3 時の不快指数を上回っている。

冬季においては、暑くてたまらない目安である不快指数 50 以下の月が、昼間でも 12 月から 2 月まで続いており、夜間においてはさらに長く、11 月から 4 月まで約半年間も継続している。このことは、富山の冬が厳しいことを反映している。

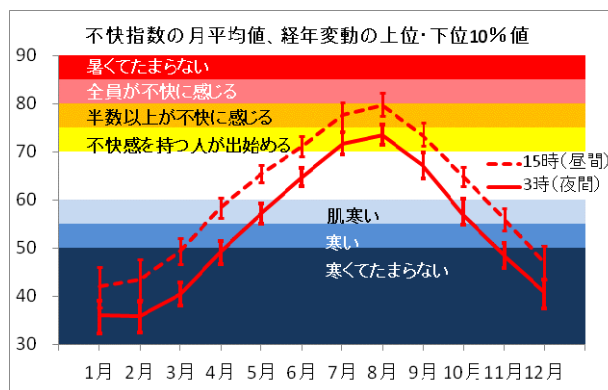


図 1：3 時と 15 時における不快指数の月平均値(折れ線)と年によるばらつき(エラーバー)。表 1 の不快指数に対する感じ方を背景に示す。

一方、夏季においては、不快感を持つ人が出始める目安の不快指数 70 以上の月が続き、特に 7 月と 8 月には、毎年のように 75 以上となり、半数以上が不快感を持つ。さらに、8 月は全員が不快に感じる目安である 80 を超える年がおおよそ 2 年に 1 回起こっている。また、8 月については夜中でも半数以上が不快感を持つ 75 を超える年も少なからずあることがわかり、夜間の熱中症や夏バテを防止する対策をしておく必要がある。

図 2 は、各年の 6 月～9 月の各時刻における不快日数である。3 時を除く各時刻とも 1993 年に平年値を大きく下回るなど、冷夏や猛暑に対応して変動が大きくなっているものの、全ての時刻で右肩上がりであり、統計的にも不快日数は増加傾向にあることが確認できた。

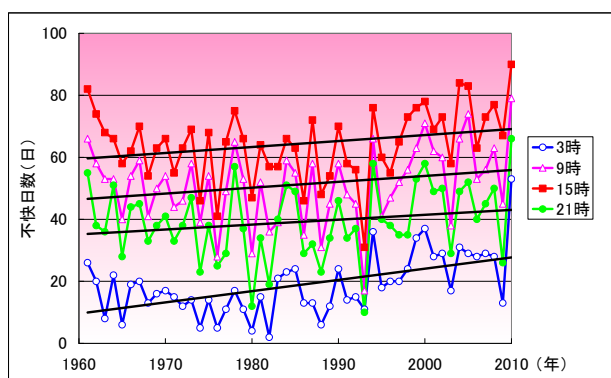


図 2：6～9月の各時刻における不快日数

時刻別でみると、近年は 15 時における不快日数が 60 日を超える年が多くなり、夏季の昼間の生活環境が厳しくなっている。2011 年の震災による電力供給率のひっ迫などのために省エネ生活を余儀なくされている現状では、高齢者などを中心とした熱中症の急増が懸念され、各自治体においてもエコライフを実践しながらの暑さ対策が検討されている。例えば、神奈川県では、省エネを実施しつつも不快感を和らげる取組みとして、グリーンカーテンの効果を検証している。アサガオを庁舎の壁面に設置して日

中の直射を防ぐことにより、室内温度を最大 1.7～2.6℃低く抑え、また体感温度も冷房使用時には平均 3.4℃、不使用時でも平均 2.1℃下げる効果を確認している（池貝ら，2010）。

また、3 時の不快日数は他の時刻と比較してもともと 1960 年代～1970 年代には 10 日程度と少ないものの、近年の増加が著しいことが分かる。昔は昼間に蒸し暑く過ごしにくいものの夕方から夜には涼しくなって一息つくことができたが、近年は、昼間だけでなく夜間にまで蒸し暑くなる日が約 18 日増えており、室温調節なしに体調管理することが難しくなっていると想像できる。

図 3 は、6 月～9 月の日々の各時刻の不快感指数を求め、それらの 50 年間の変化傾向を調べたものであり、10%棄却率で統計的に有意と判断されたものを濃色で表したものである。おおよそ全ての時刻において、6 月の梅雨時期や 9 月の残暑時期に不快指数の上昇が有意であり、特に 3 時と 21 時の上昇幅が大きくなっている。これらの時刻には 8 月前半にも上昇傾向が確認されており、夜間の不快感が高まってきている。また、昼間の不快指数も上昇しているが、一部、7 月末に有意な減少傾向が見られる。

図 4 は、各時刻における 6 月～9 月の期間で平均した気温の経年変動であり、図 5 は、各時刻における 6 月～9 月の期間で平均した相対湿度の経年変動である。Hatsushika et al. (2009) で示すように、都市化や温暖化により、富山の気温はこの 50 年で 1℃程度上昇しており、この変化傾向は各時刻に同様に見られる。また、相対湿度については、都市化の影響もあり、各時刻とも若干ではあるが減少傾向となっている。

このため、各時刻における不快指数の経年変化に、温度と湿度の変化がどのように影響しているかについて調査した（表 2）。各時刻において、相対湿度を 50 年平均値、気温を線形回帰か

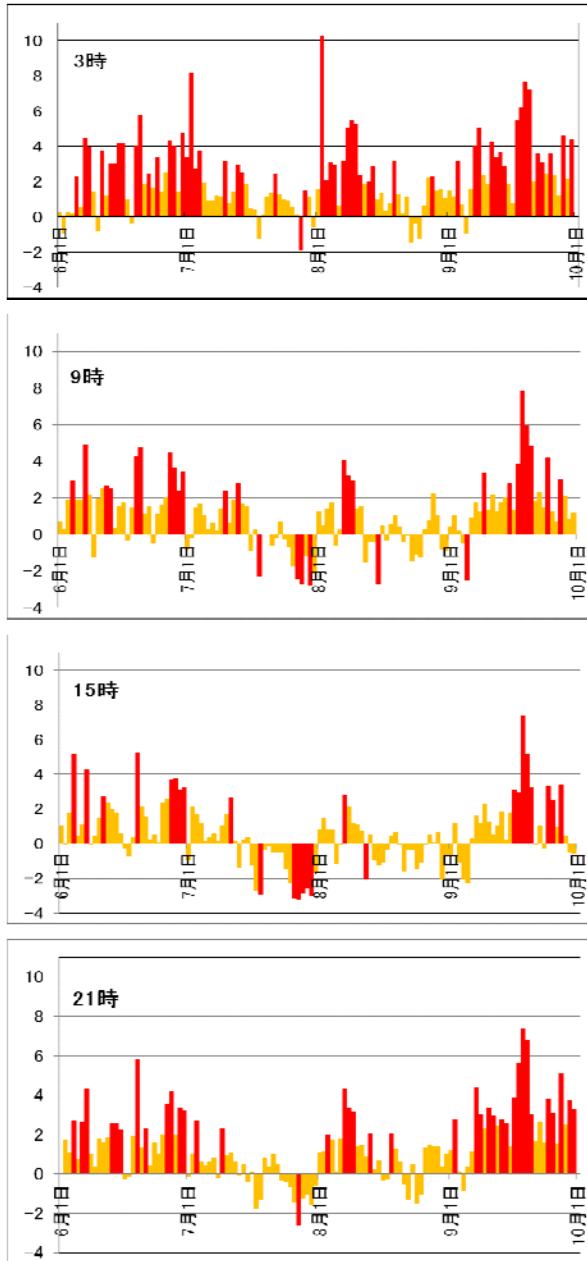


図3：毎日3時、9時、15時、21時における不快指数の50年変化。濃色は統計的に有意な期間を示す。

ら求めた過去（50年前）と現在の値とした場合と、気温を50年平均値、相対湿度を線形回帰から求めた過去（50年前）と現在の値とした場合の不快指数の差を求めたところ、湿度を一定とした場合の変化が温度を一定とした場合の変化に対して支配的であり、不快指数は特に温度の変化に影響を受けていることが確認された。

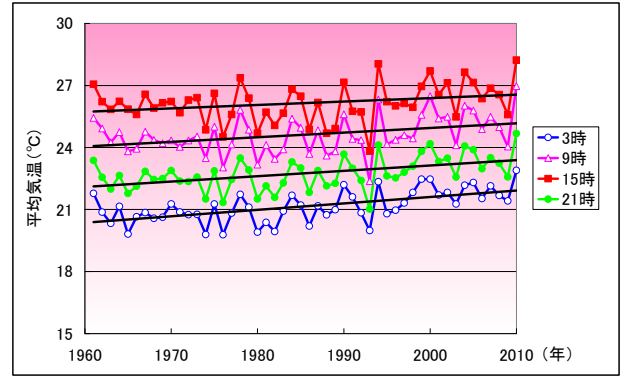


図4：各時刻における6月～9月の平均気温

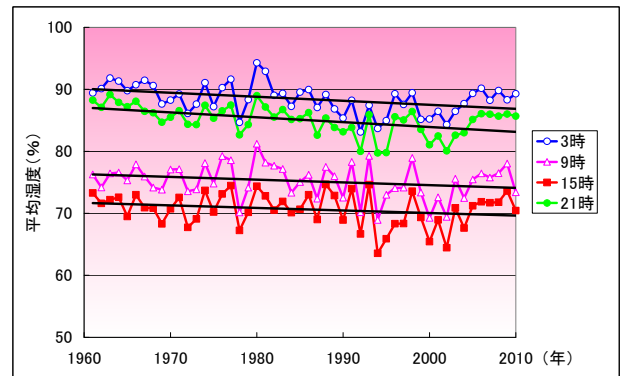


図5：各時刻における6月～9月の平均湿度

また、時刻による不快指数の違いを見ると、3時の方が15時と比較して大きな変化を示している。これは、3時の方が気温の変化が大きく（3時：1.5℃、15時：0.9℃）、また、気温自体も低いことによると考えられる。

4 まとめ

不快指数は、気温と湿度の関数で表すことができることから簡易に人の感じ方を表す手法として用いられており、富山では、夏季の暑い期間が短く、冬季に寒くてたまらない期間が長い。不快指数の経年変化を解析したところ、近年は増加傾向にあることが分かり、夏季については、例えば夜中の3時に不快指数75を上回る日がこの50年で約18日も増えており、体調管理に支障をきたす恐れが出始めている。

表2：不快指数の温度（℃）・湿度（％）依存

| | 相対湿度 | 乾球温度 | | 不快指数 | | |
|-----|------|------|------|------|------|-----|
| | 平均 | 過去 | 現在 | 過去 | 現在 | 差 |
| 3時 | 88.4 | 20.4 | 21.9 | 68.0 | 70.6 | 2.6 |
| 9時 | 75.2 | 24.1 | 25.2 | 73.0 | 74.7 | 1.7 |
| 15時 | 70.6 | 25.7 | 26.6 | 75.1 | 76.3 | 1.2 |
| 21時 | 85.1 | 22.1 | 23.4 | 70.7 | 72.8 | 2.1 |

| | 乾球温度 | 相対湿度 | | 不快指数 | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| | 平均 | 過去 | 現在 | 過去 | 現在 | 差 |
| 3時 | 21.2 | 90.0 | 86.8 | 69.4 | 69.2 | -0.2 |
| 9時 | 24.6 | 76.3 | 74.1 | 73.9 | 73.7 | -0.2 |
| 15時 | 26.1 | 71.7 | 69.6 | 75.8 | 75.6 | -0.2 |
| 21時 | 22.8 | 87.0 | 83.1 | 71.9 | 71.6 | -0.3 |

平均は6月～9月の平年値、過去は線形回帰で求めた50年前の値をそれぞれ示す。

不快指数を決める気温と湿度について変化傾向を解析したところ、最近の気温は増加傾向、湿度は減少傾向にあり、温暖化と都市化の双方に影響を受けていると推測されるものの、湿度よりも気温の方が不快指数に与える寄与が大きいため、不快指数は増加傾向となっていることが分かった。

5 成果の活用

県民総参加の温暖化防止活動に役立つような、普及啓発資料として役立てる。

参考文献

池貝ら，アサガオを用いた壁面緑化の効果測定，神奈川県環境科学センター研究報告，31，86-89，2010.

初鹿ら，富山県における地球温暖化に関する調査研究，平成19年度富山県環境科学センター年報，35，76-77，2008.

初鹿ら，富山県における地球温暖化に関する調査研究－県内の降雪に関する調査－，平成20年度富山県環境科学センター年報，36，75-80，2009.

初鹿ら，富山県における地球温暖化に関する調査研究－富山県内における冷暖房使用量の変化－，平成21年度富山県環境科学センター年報，37，81-88，2010.

Hatsushika et al., Change in surface air temperature, humidity, and precipitation over Toyama prefecture due to global warming, Journal of Eco-technology Research, 14, 189-194, 2009.