第5章 その他の要素の将来予測

【ポイント】

- 相対湿度は、多くの地域で冬に増加し、夏に減少する。
- 年間の日射量は、北日本で減少する。
- 突風や激しい雷雨の発生しやすさを表す指数は不安定化を示す。

5.1 相対湿度

相対湿度は、飽和水蒸気圧に対する水蒸気圧の比を百分率で表したものである。飽和水蒸気圧は 補正した気温を用いて算出している。相対湿度の大小は土壌・植物・人体等からの蒸発量に影響し、 過度の多湿・乾燥は農作物管理や健康被害のリスクを増大させる。

相対湿度の日統計には、時別値を平均した日平均相対湿度と最小の時別値を抽出する日最小相対 湿度があるが、本書では一時的な乾燥ではなく平均的な相対湿度の変化を評価するため、日平均相 対湿度を年・3ヶ月・通年半旬で平均した統計値を用いた。

なお、本節では現在気候と将来気候との比較は全て「差」を用いており、「比」は用いていない。 文中や図表の「%」は全て相対湿度の単位であることに注意されたい(例:現在気候の平均が65%、 将来気候の平均が70%の場合、5%の増加となる)。

なお、気温と同様、都市化による相対湿度への影響があるが(気象庁、2012)、この予測結果に は都市の将来変化の影響は考慮されていない。

5.1.1 平均と年々変動の変化

地域気候モデルによる相対湿度の現在気候と将来気候との差を、図 5.1-1 及び付表と図 5.1-2 に 示す。

年平均湿度は減少しており、特に東日本以西でその傾向が強い。また、沖縄・奄美は減少してい るものの、年々の変動も大きい。

夏は多くの地域で相対湿度が減少する。これは水蒸気圧は夏から秋を中心に全期間を通じて増加 するが(図略)、それ以上に気温上昇により飽和水蒸気圧が増加するためと考えられる。

一方、冬は東日本日本海側を除く北日本から西日本で増加する。特に太平洋側で増加が顕著であ る。これは温暖化進行時の冬型の気圧配置の弱まりを反映していると考えられる。

5.1.2 季節進行の変化

地域気候モデルによる相対湿度の通年半旬別値を、図 5.1-3 に示す。

概ね前節の変化を反映したものとなっているが、東日本と西日本の夏に着目すると、現在気候で は6月に相対湿度のピークがあり8月にかけて緩やかに減少するのに対して、将来気候では6月の ピークがなだらかになり7月に大きく減少した後8月には再び上昇する傾向がみられる。これは、 夏の全天日射量増加が前半中心(5.2)であることと合わせ、3.1.2で述べた現在気候で梅雨開けに 相当する時期の降水量の減少の不明瞭と整合しており、温暖化に伴う梅雨明けの遅れを反映してい ると考えられる。



	年	春	夏	秋	冬
全国	-0.52	-0.28	-2.80	-0.22	1.20
北日本日本海側	0.18	-0.09	0.24	-0.35	0.95
北日本太平洋側	0.15	-0.41	-2.52	0.16	3.37
東日本日本海側	-1.71	-1.57	-2.92	-0.90	-1.46
東日本太平洋側	-0.80	-0.32	-3.97	-0.33	1.41
西日本日本海側	-0.87	-0.41	-3.33	-0.27	0.51
西日本太平洋側	-0.44	0.08	-2.97	-0.04	1.14
沖縄・奄美	-0.39	0.46	-1.90	-0.35	0.22

(







図 5.1-1 及び付表 地域別相対湿度の変化(将来気候の現在気候との差)

棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(a):年間、(b): 春(3~5月)、(c):夏(6~8月)、(d):秋(9~11月)、(e):冬(12~2月)。右上の付表は増加(減少)の数値を 示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合は水色(オレンジ色)に、信頼度水準90%で有意では ない場合は灰色に塗りつぶしている。

(第5章 その他の要素の将来予測)



図 5.1-2 相対湿度の変化(将来気候の現在気候との差)















図 5.1-3 地域別平均相対湿度の季節進行の変化(現在気候の年平均との差)

折線は通年半旬値、陰影は年々変動の標準偏差を示す。5半旬で平滑化している。黒が現在気候、赤が将来気候である。

(a):北日本日本海側、(b):北日本太平洋側、(c):東日本日本海側、(d):東日本太平洋側、

(e):西日本日本海側、(f):西日本太平洋側、(g):沖縄·奄美

68

5.2 全天日射量

全天日射量は、地表面が受ける太陽放射のエネルギー量で、直接到達したもののほかに雲や空気 などに散乱された上で到達した太陽放射も含む。全天日射量の増減による影響は、農作物の成長や 太陽光発電の稼働効率などが考えられる。本書では1日の積算量を年・3か月・通年半旬で平均し た統計値を用いた。単位はMJ/mで表し、1MJ/m²は1平方メートルあたり1,000,000J(ジュール) のエネルギーを受けたことを示す。

5.2.1 平均と年々変動の変化

地域気候モデルによる全天日射量の現在気候と将来気候との差を、図 5.2-1 及び付表と図 5.2-2 に示す。

年平均値は、北日本では減少している。これは季節別に見ても秋を除いて同様の傾向であり、3.1.1 の降水量の変化で述べたように温暖化による高緯度域での降水量増加と整合した結果となっている。 しかし、東日本以西では有意な変化がみられない地域が多い。

春から夏は、北日本で全天日射量が減少し、東日本と西日本で増加する傾向がみられる。ただし、 春の東日本と西日本の増加は、近未来と将来気候の対応がみられないことから、不確実性が大きい (図略)。

冬は沖縄・奄美を除いて減少する。無降水日数が増加する日本海側でも全天日射量が減少することは、冬型の気圧配置が弱まることで、降水頻度が減少するものの雲が多い状態を維持することと、 太平洋沿岸でも曇天が増加することによると考えられる。

沖縄・奄美では、夏から秋の減少がみられるが、近未来気候と将来気候との対応がみられないこ とから、不確実性が大きい(図略)。

5.2.2 季節進行の変化

地域気候モデルによる全天日射量の通年半旬別値を、図 5.2-3 に示す。

東日本と西日本では、6月に全天日射量が増加しており、相対湿度の季節進行や夏の無降水日数の増加と整合している。また、北日本では7月から8月の減少が顕著で、降水量の増加(3.1.2)と対応している。北日本の将来気候の5月のピークから6月に急減し7月から9月の緩やかな減少という全天日射量の季節進行は、東日本や西日本のそれと類似しており、夏季においては北日本でも東日本や西日本の季節進行に近づいている。一方、沖縄・奄美では季節進行に大きな変化はみられない。

69

(第5章 その他の要素の将来予測)



	年	春	夏	秋	冬
全国	-0.11	0.08	-0.14	-0.03	-0.38
北日本日本海側	-0.37	-0.36	-0.69	-0.02	-0.39
北日本太平洋側	-0.38	-0.33	-0.62	-0.11	-0.47
東日本日本海側	-0.05	0.04	-0.09	0.15	-0.29
東日本太平洋側	0.04	0.38	0.18	0.09	-0.47
西日本日本海側	0.04	0.36	0.25	-0.16	-0.29
西日本太平洋側	0.13	0.49	0.31	-0.03	-0.27
沖縄・奄美	-0.20	-0.11	-0.39	-0.45	0.17

(b)





東

Β

本太平

- 洋側

两

Β

一本日本

. 海

側

•

沖縄

奄

美

西日本太平洋

側



図 5.2-1 及び付表 地域別全天日射量の変化(将来気候の現在気候との差)

棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(a):年間、(b): 春(3~5 月)、(c):夏(6~8 月)、(d):秋(9~11 月)、(e):冬(12~2 月)。右上の付表は増加(減少)の数値を 示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合はオレンジ色(水色)に、信頼度水準90%で有意では ない場合は灰色に塗りつぶしている。



図 5.2-2 全天日射量の変化(将来気候の現在気候との差)







(d)













図 5.2-3 地域別全天日射量の季節進行の変化(現在気候の年平均との差)

折線は通年半旬値、陰影は年々変動の標準偏差を示す。5半旬で平滑化している。黒が現在気候、赤が将来気候である。

(a):北日本日本海側、(b):北日本太平洋側、(c):東日本日本海側、(d):東日本太平洋側、

(e):西日本日本海側、(f):西日本太平洋側、(g):沖縄・奄美

5.3 鉛直安定度

鉛直安定度には様々な指数があるが、本書では EHI と SWEAT を用いて解析した。

EHI は Energy Helicity Index の略で、経験的にスーパーセル1や竜巻の発生しやすさを CAPE と SReH を用いて指標化したものであり、数値が大きいほど発生・発達の可能性が高くなる。表 5.3-1 に計算式と値の目安(Raumussen and Blanchard, 1998)を示す。なお、冬季は CAPE が小さく なることから、SReH が比較的大きな値となっても EHI は小さな場合がある。

SWEAT は Severe Weather Threat の略で、シビアウェザー指数と呼ばれる。激しい雷雨の発生 しやすさを指標化したものであり、数値が大きいほど発生の可能性が高くなる。表 5.3-2 に計算式 と値の目安を示す (Miller, 1972)。冬季に EHI が小さい場合でも、SWEAT は高い値を示す場合が ある。

いずれの指数も、6時間ごと(15時、21時、翌3時、翌9時)の値の最大値を日別値とし、これを年・3ヶ月・通年半旬で平均した統計値を用いた。

計算式	$EHI = \frac{CAPE \times SReH}{160,000}$
	CAPE:対流有効位置エネルギー。大気の静的安定度を定量的に示す指標。大気の状態が
	不安定なほど値が大きくなる。
	SReH:ストームに相対的なヘリシティ(らせん状の渦)。積乱雲に流入して上昇する空気
	塊が、積乱雲に運び込む回転(渦)の大きさの目安であり、値が大きいほど竜巻
	発生のリスクが高くなる。
値の目安	EHI > 1.0:スーパーセル発達の可能性有り。
	> 2.0:スーパーセル発達の非常に高い可能性有り。
	>4.0:顕著な竜巻が発達する可能性が高い。

表 5.3-1 EHI の計算式と値の目安

表 5.3-2 SWEAT の計算式と値の目安

計算式	$SWEAT = 12 \times TD850 + 20 \times TERM2 + 2 \times SKT850 + SKT500 + SHEAR$					
	TD850:850hPaの露点温度(負の場合は0)					
	TERM2 : TTI (Total Totals Index)から 49 を引いたもの(負の場合は 0)					
	TTI = (T850 - T500) + (Td850 - T500)					
	T850 と T500 は、それぞれ 850hPa と 500hPa の温度					
	SKT850:850hPa の風速(ノット)					
	SKT500:500hPa の風速(ノット)					
	SHEAR : $125 \times (sin(D1R500 - D1R850) + 0.2)$					
	SHEAR は以下を満たさない場合は 0					
	① DIR850 が 130~350 度の範囲内、かつ DIR500 が 210~310 度の範囲内にある					
	② DIR500-DIR850>0、SKT850≧15、SKT500≧15					
	DIR500:500hPa の風向					
	DIR850:850hPa の風向					
値の目安	SWEAT > 300:激しい雷雨の可能性有り。					
	> 400: 竜巻の可能性有り。					

¹ スーパーセルとは、内部の上昇流域に、数 km から 10km 程度の小さい低気圧をもち、比較的長寿命な発達した 積乱雲である。スーパーセルは、強雨や雹、竜巻等の激しい気象現象をもたらすことがある。

(第5章 その他の要素の将来予測)

5.3.1 平均と年々変動の変化

地域気候モデルによる鉛直安定度の現在気候と将来気候との差を、EHI は図 5.3-1 及び付表と図 5.3-3 に、SWEAT は図 5.3-2 及び付表と図 5.3-4 に示す。

沖縄・奄美を除くと、すべての季節で EHI、SWEAT 共に増加する。いずれも夏の増加が顕著で ある。沖縄・奄美では、EHI は春のみ顕著に増加するが、SWEAT は将来気候でどの季節も増加す る。

夏の EHI に着目すると、北日本から西日本では日本海側よりも太平洋側の増加が少なく、沖縄・ 奄美では減少している。これについて、EHI 算出の元となる CAPE と SReH から求めた竜巻発生 好適条件日が、21 世紀末の夏は日本海側では増加、沖縄・奄美を含めた太平洋側では減少するとし ており(文部科学省研究開発局, 2012)、本予測と整合的である。同報告書では、太平洋側の減少の 要因として将来の梅雨前線の北上の遅れを指摘している。

温暖化の進行により低緯度から中緯度帯の対流圏では上層の方が下層よりも温度上昇が大きく なるため、大気の鉛直温度構造は安定化し、大規模な循環は弱まると考えられる。しかし、水蒸気 量や風速の鉛直シアーの変化を計算に取り込み、大気の状態を積乱雲の発生・発達に係る時間スケ ールも空間スケールも比較的小さいエリアの環境場として表したこれらの指数では、温暖化の進行 により環境場としては不安定化することがわかる。ただし、これは5km 解像度のモデルにおける 平均的な環境場として見たときの変化であり、モデルの格子よりも小さな空間スケールで発生する 局地的な雷雨や竜巻の発生を直接評価したものではないことに留意する必要がある。

5.3.2 季節進行の変化

地域気候モデルによる鉛直安定度の通年半旬別値を、EHI は図 5.3-5 に、SWEAT は図 5.3-6 に 示す。

EHI、SWEAT 共に、概ね 5.3.1 で述べた変化を反映したものとなっている。沖縄・奄美を除く と7月から8月をピークとした季節進行は変わらないが、5月から6月の不安定化が目立ち、早い 時期から現在気候のピーク時に近い不安定となる可能性がある。沖縄・奄美では、SWEAT はどの 季節でも増加し季節進行に大きな変化はみられないが、EHI は春の増加が顕著で、現在気候では4 月から9月にかけて長期間のピークとなっていたが、将来気候では4月から6月がピークとなる。





(b) 3か月間平均EHIの変化(春) 0.10 0.08 0.06 0.04 0.02 0.00 -0.02 -0.04-0.06 -0.08 -0.10 沖 縄 西日本 西日本 全 国 北日本日本海側 北日本太平洋側 東日本日 東 日本 · 太 平 Β 太平洋側 奄 本 本 美 洋側 海 海側

側







東

Β

本太平

. 洋

側

西日本日本海

側

西日本太平洋側

沖

縄

奄

美

T

図 5.3-1 及び付表 地域別の EHI の変化 (将来気候の現在気候との差)

棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(a):年間、(b): 春(3~5 月)、(c):夏(6~8 月)、(d):秋(9~11 月)、(e):冬(12~2 月)。右上の付表は増加(減少)の数値を 示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合はオレンジ色(水色)に、信頼度水準90%で有意では ない場合は灰色に塗りつぶしている。



	年	春	夏	秋	冬
全国	18.40	19.24	29.61	19.21	5.54
北日本日本海側	18.34	18.79	32.07	17.32	5.09
北日本太平洋側	17.25	17.76	31.16	15.59	4.48
東日本日本海側	19.62	21.84	30.66	22.26	3.61
東日本太平洋側	18.72	20.93	28.09	20.58	5.36
西日本日本海側	19.14	17.88	29.67	21.99	7.03
西日本太平洋側	18.39	19.31	27.32	20.43	6.48
沖縄・奄美	22.56	27.08	18.86	26.98	17.31

(b)





(d)





図 5.3-2 及び付表 地域別の SWEAT の変化 (将来気候の現在気候との差)

棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(a):年間、(b): 春(3~5月)、(c):夏(6~8月)、(d):秋(9~11月)、(e):冬(12~2月)。右上の付表は増加(減少)の数値を 示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合はオレンジ色(水色)に、信頼度水準90%で有意では ない場合は灰色に塗りつぶしている。



図 5.3-3 平均 EHI の変化(将来気候の現在気候との差)



図 5.3-4 SWEAT の変化(将来気候の現在気候との差)







通年半旬平均EHIの季節変化(西日本日本海側)



(d)



(f)





(e)

0.4

0.3

0.2

0.1

0

—現在気候

- 将来気候



1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

図 5.3-5 地域別の EHI の季節進行の変化(現在気候の年平均との差)

折線は通年半旬値、陰影は年々変動の標準偏差を示す。5半旬で平滑化している。黒が現在気候、赤が将来気候である。

(a):北日本日本海側、(b):北日本太平洋側、(c):東日本日本海側、(d):東日本太平洋側、

(e):西日本日本海側、(f):西日本太平洋側、(g):沖縄·奄美









(d)



(f)









1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月

図 5.3-6 地域別の SWEAT の季節進行の変化(現在気候の年平均との差)

折線は通年半旬値、陰影は年々変動の標準偏差を示す。5半旬で平滑化している。黒が現在気候、赤が将来気候である。

(a):北日本日本海側、(b):北日本太平洋側、(c):東日本日本海側、(d):東日本太平洋側、

(e):西日本日本海側、(f):西日本太平洋側、(g):沖縄·奄美