

北アフリカにおける夏季の熱帯対流活動・亜熱帯高気圧・ 下層風の関係についての予察的研究

秋 山 祐佳里

1 はじめに

サハラ砂漠の南側のサヘル地域では、20世紀の半ばからの降水の減少が問題になっている。この地域は、亜熱帯高気圧に覆われており、夏季に高気圧の北上に伴い熱帯収束帯が北上し、サヘル地域上空で熱帯対流活動が起こるようになることによって降水がもたらされるとされてきた。

しかし Sinoda & Kawamura (1994) によれば、1950～80年代における夏季のサヘル地域の降水の減少傾向には、北アフリカにおける熱帯収束帯の降水量の減少の方が、その赤道方向への移動よりも大きく影響しており、これは熱帯アフリカ全域の850～500 hPa面の層厚の増加と関係している。この対流圏下層の傾向は、大規模な沈降気流の強まりによるものと考えられる。

本論では、下層と上層の高度場の違いに着目し、対流圏中層の500hPa面における亜熱帯高気圧を指標として、夏季のサヘル地域における降水の要因と考えられる熱帯対流活動との関係について考察する。上層の亜熱帯高気圧の勢力が増せば、それだけ対流活動は不活発になり降水が減ることが予想される。一方、対流活動が活発になるには高気圧の強さだけでなく下層風の収束も考えられる。

そこで本研究では、降水の減少が深刻化しているサヘル地域のうち10～15°N, 20°W～40°Eを解析地域とし、①対流活動、②対流活動を抑えらると考えられる亜熱帯高気圧、③対流活動を強めると考えられる下層風の3者の関係について、この地域で季節的に降水が強まる7・8月の月平均場から総観気候学的に考察する。なお、解析期間は1979～1998年の20年間とする。

2 データ・方法

等圧面高度、および風向風速データは、NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) による再解析データ (2.5°×2.5°グリッド) を使用する (Kalnay et al;1996, 気象庁;2000)。亜熱帯高気圧に関しては、対流圏中層の500 hPa等圧面高度データを用いる。下層風の解析には850 hPa面における風向風速データを用いる。また対流活動の指標としては、NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) によるOLRデータ (2.5°×2.5°グリッド) を使用する。OLRと実際の降水量との関係を示すための北アフリカ付近の降水量の実測データについては、NOAAによるWORLD WEATHER RECORDS, およびMONTHLY CLIMATIC DATA FOR THE WORLDを用いる。

解析の指標は、亜熱帯高気圧を示す指標としてその領域面積を、対流活動の指標として解析地域 (10～15°N, 20°W～40°E) における平均OLR値を、下層風の指標として850 hPa面における東西風の年間偏差を用いる。

亜熱帯高気圧の勢力を示す指標は、三上 (1974) によって対流圏中層の高気圧を表すために用いられた500hPa等圧面高度場における高度5880m以上の領域面積を使用する。本研究においては北アフリカ・アラビア半島付近に現れる亜熱帯高気圧を捉えるため、EQ～60°N, 30°W～90°Eを北アフリカ領域とし、この領域内に現れる亜熱帯高気圧のみを扱う。なお、領域面積の計測は、ランベルト正積図法によって表した月平均高度場からData Picker ver.1を用いて行う。

対流活動の活発・不活発を表す指標としては、解析地域 (10～15°N, 20°W～40°E) 平均OLR値を用いる。この平均OLR値と実際の降水量との関係については、それぞれの経年変化を比較することで確認する。この比較を行うことで、観測密度が粗く欠測も多いこの地域の降水量の実測値

の代替としてのOLRの有効性を述べる。ここで用いるサヘル地域全体の降水の経年変化を表すものとして、対象地域付近10地点における月降水量の半年比の経年変化を使用する。半年比を用いるのは、経年的な降水量のばらつきの大さの異なる各地点の変化を反映させるためである。使用した地点は、① Aioun el atrouss (16°42'N, 09°36'W: MAURITANIA), ② Bamako (12°32'N, 07°57'W: MALI), ③ Tombouctou (16°43'N, 03°00'W: MALI), ④ Dori (14°02'N, 00°03'W: BURKINA FASO), ⑤ Fada n'gourma (12°04'N, 00°21'E: BURKINA FASO), ⑥ N'guigmi (14°15'N, 13°07'E: NIGER), ⑦ Maine-soroa (13°14'N, 11°59'E: NIGER), ⑧ Khartoum (15°36'N, 32°33'E: SUDAN), ⑨ Kosti (13°10'N, 32°40'E: SUDAN), ⑩ Salalah (17°02'N, 54°05'E: OMAN) の10地点である。

また解析地域に吹く主な下層風は、地中海側からアフリカの内陸部へ吹きこむ北風・ギニア湾岸に吹き込む西風のギニアモンスーン・インド洋側で南半球から吹き込む南東貿易風の3つが挙げられる。3章でも述べるが、地中海側からアフリカの内陸部へ吹きこむ北風については経年的な変化は他の2風系に比較して少なく定常的に吹走するため、本研究ではギニアモンスーン・南東貿易風についてのみ解析に加える。その方法は、ギニアモンスーンについては5°~10°N, 20°W~20°Eの、南東貿易風については10°S~EQ, 40°~60°Eの領域における東西風の半年比(対象期間である1979~1998年の平均値)からの偏差を求め、下層風の指標とする。

方法は、亜熱帯高気圧領域面積についてはその平均値に標準偏差を加えた値以上の場合を「大」、平均値から標準偏差分を引いた値以下の場合を「小」として区分し、平均OLR値においても同様の区分を行い対流活動活発年と不活発年に分類した。下層風についてはギニアモンスーンの半年偏差をG、南東貿易風の半年偏差をTとして、それぞれの対象領域における東西風の半年偏差からG+, G-, T+, T-で分類した。対流活動活発年・不活発年における各出現割合からそれぞれの指標の特徴を考察した。

3 結果・考察

図1は北アフリカ領域における7・8月の月平均OLR分布の20年間平均図を示す。この図から、OLRの値が低い領域は、5°~10°N付近に表れており、夏季には対象地域であるサヘル地域の南側で対流活動が活発であることがわかる。7・8月ともにほぼ同様の分布を示しているが、7月は5°W付近で8月に比較して対流活動が弱く表れている。

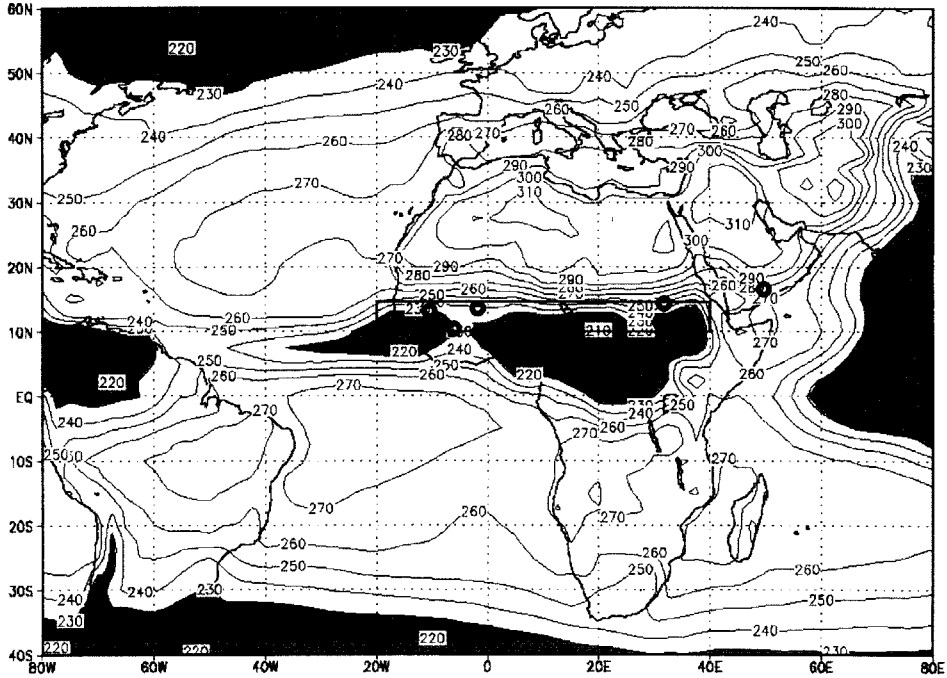
図2は解析地域(10°~15°N, 20°W~40°E)における平均OLR値、および解析地域付近10地点における月降水量の半年比の経年変化を示す。この図から、降水量の半年比とOLR値は「負」相関、すなわち逆の関係にあり、この地域・時期においてはOLRによっておおよその降水量の経年的な変化を表すことが出来るといえよう。

一方、図3は北アフリカ・アラビア半島領域における7・8月の月平均500 hPa等圧面高度場の20年間平均図を示す。塗りつぶされている領域は、本論で定義した亜熱帯高気圧を表している。この図によると夏季の亜熱帯高気圧は、北大西洋上から北アフリカ、アラビア半島上空かけて東西に拡がって表れている。この形体は7・8月ともに同様であり、経度方向でみると40°W, 0°, および50°E付近では高気圧の北への張り出しがみられた。この領域面積の経年変化を表したものが図4である。解析期間の20年間における平均領域面積は、7月で19.51×10⁶ km², 8月で19.93×10⁶ km²であり、両月とも有意なトレンドはみられなかったが、7月は8月に比較して年による変動幅が大きかった。

この亜熱帯高気圧の領域面積と図2で示した解析地域平均OLR値の相関係数を求めたところ、7月は0.26, 8月は0.08と有意な関係は得られなかった。これは、対流活動とそれを抑える亜熱帯高気圧の関係のみをみているためであり、これらの関係だけでは説明できない。

そのため、この地域の対流活動を強める要因として下層風の収束の影響を考え、対流圏下層の850 hPa面における風向風速図を示した(図5)。この図によると解析地域であるサヘル地域に吹き込む風として主に3つの風系が挙げられる。1つは地中海側から高気圧セルの長縁を廻ってアフリカの内陸部へ吹き込む北風がある。さらに、EQ~10°Nにおけるギニア湾岸ではギニアモンスーンと呼ばれる下層の南西風が流入し、インド洋側

Monthly OLR Jul 1979-1998



Monthly OLR Aug 1979-1998

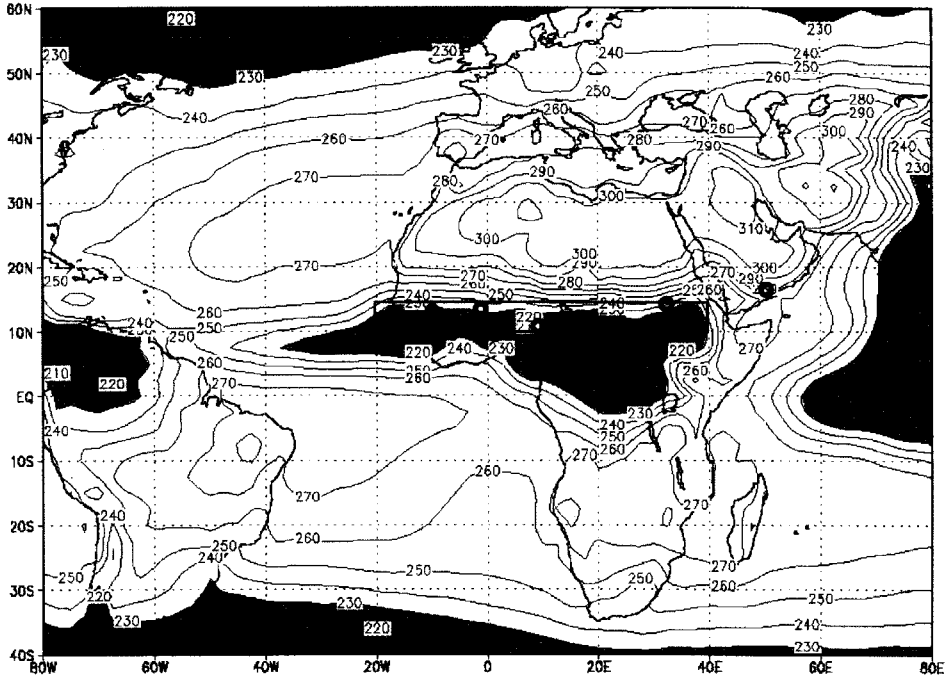


図1 7・8月の北アフリカ領域における月平均OLR分布の20年間平均図

(1979-1998, 単位は W/m^2 , ハッチは $230 W/m^2$ 以下を示し, □は解析地域, ○は図2で用いる降水量の実測地点を示す)

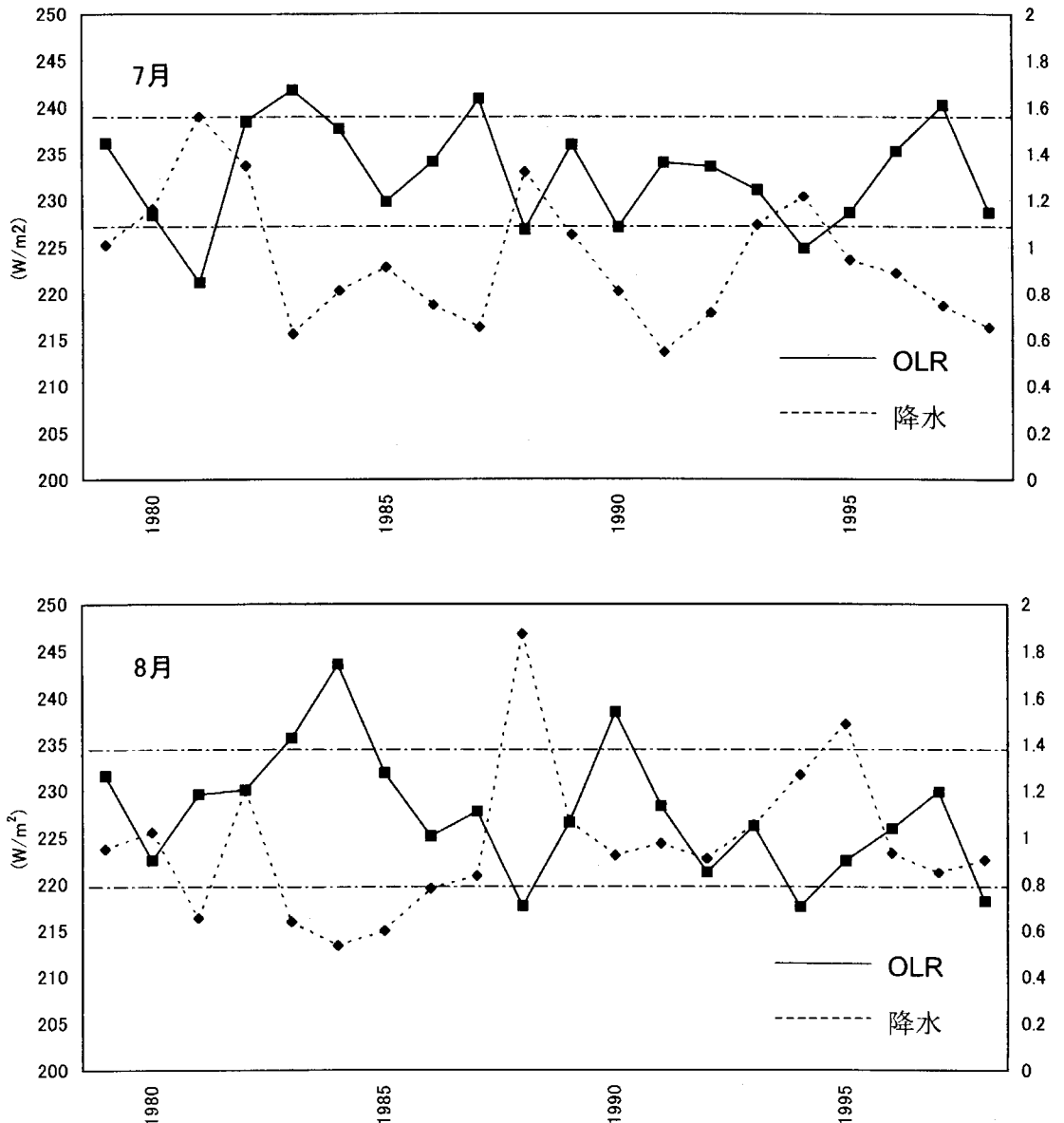


図2 サヘル地域における7・8月の平均OLR値、および月降水量の年平均の経年変化

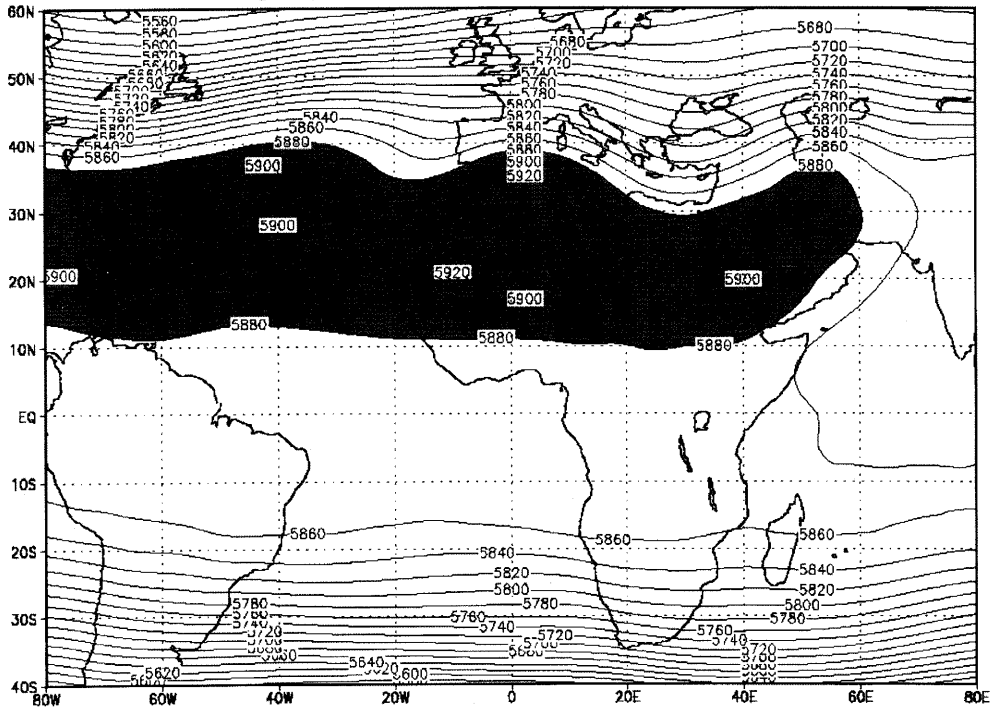
(1979-1998, 実線が平均OLR値, 破線が降水量の年平均比を示し, 降水量は解析地域付近の10地点の平均を用いた, 平均OLR値は $10-15^{\circ}N, 20^{\circ}W-40^{\circ}E$ の領域平均OLRの値を示し, 一点破線はOLRの平均値に標準偏差を加えた値・平均値から標準偏差を引いた値を示す)

では南半球からの南東貿易風が吹き込んでいる。これらの風は、海洋上を吹走してきているため、大陸上での降水の要因としても重要と考えられる。これらの風系のうち地中海側から吹き込む北風は、この風系を挟む東西の気圧差の経年変化から経年的な風の変化は他の2風系に比較して少なく定常

的に吹走することを確認した。

そこで、経年的に変動していると考えられる下層風の指標としてギニアモンスーン (G)・南東貿易風 (T) の年平均偏差, 亜熱帯高気圧の指標として領域面積, 対流活動の指標として平均OLR値を用い, 各指標の大小から年毎の分類を行った

500hPa geopotential height field Jul 1979-1998



500hPa geopotential height field Aug 1979-1998

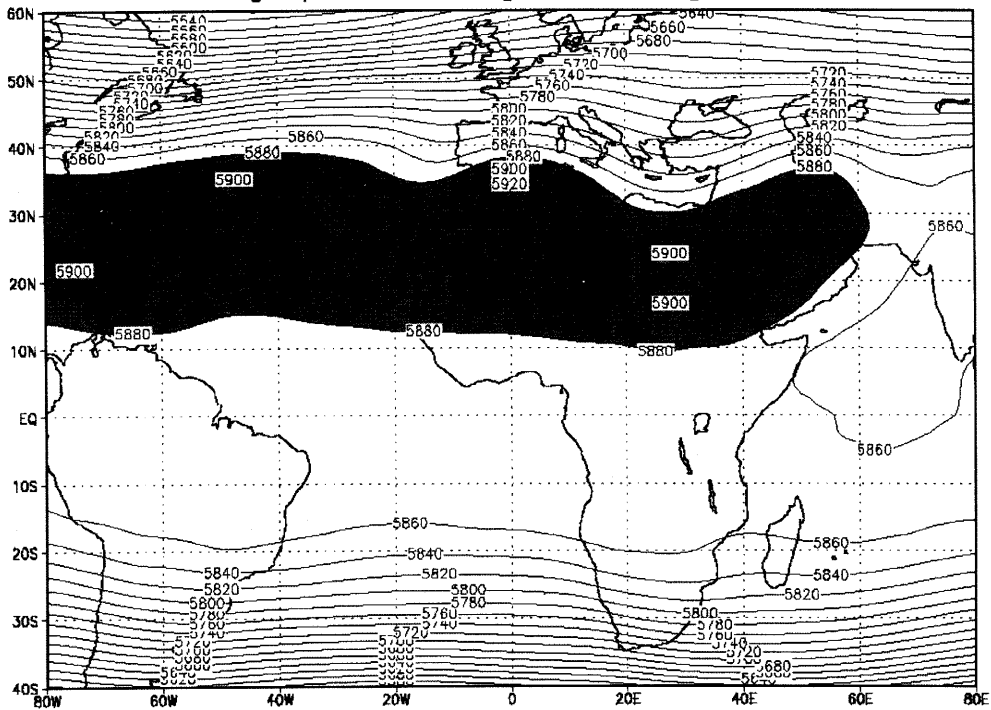


図3 北アフリカ領域における7・8月の月平均500 hPa等圧面高度場の20年間平均図
(1979-1998年, 単位はm, ハッチは亜熱帯高気圧と定義した高度5880 m以上の領域を示す)

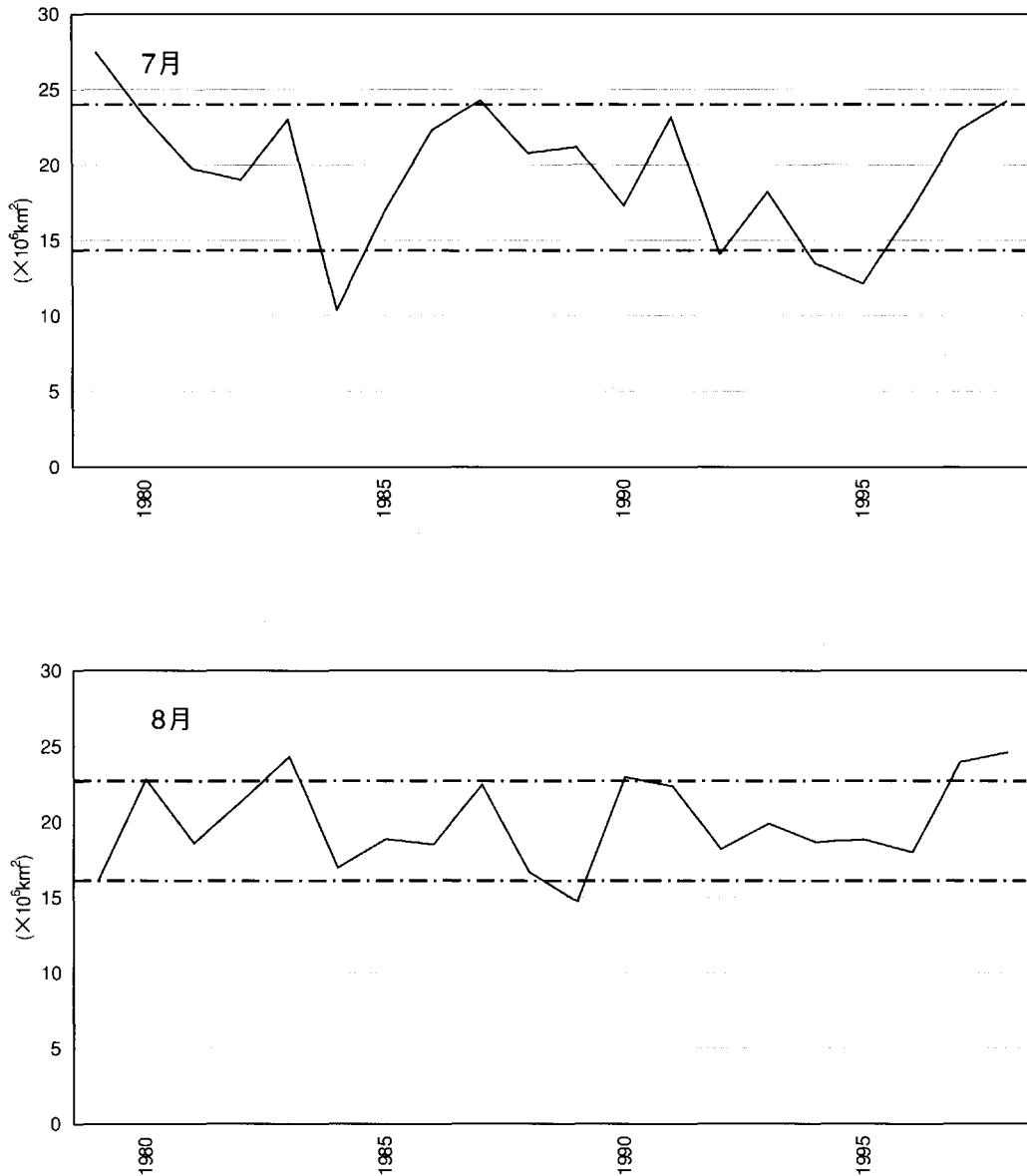


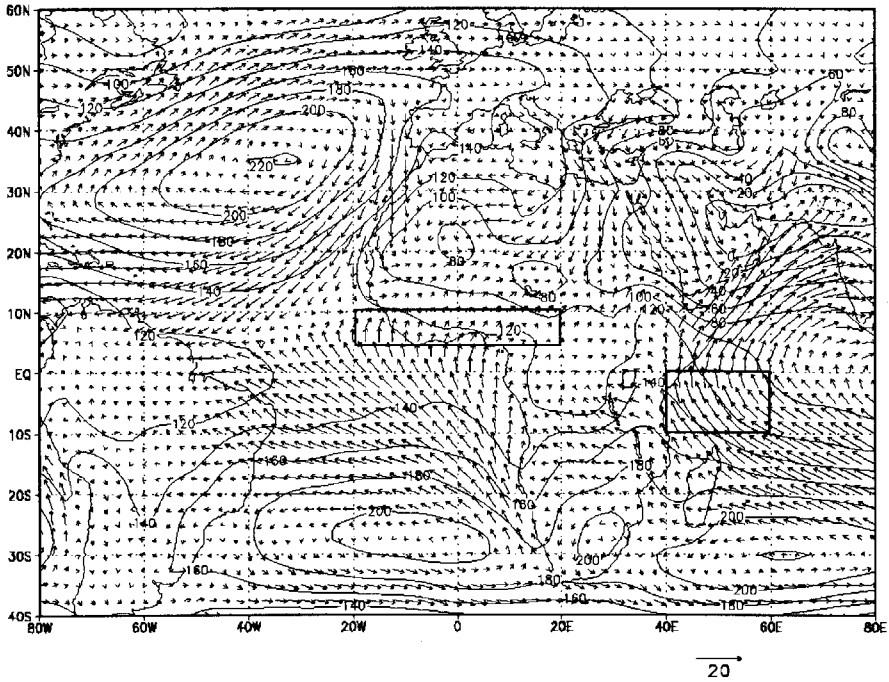
図4 7・8月の月平均500 hPa面における30°W以東の北アフリカ領域での亜熱帯高気圧領域面積の経年変化 (1979-1998年, 単位は× 10⁶ km², 一点破線は平均値に標準偏差を加えた値・平均値から標準偏差を引いた値を示す)

(表1)。亜熱帯高気圧領域面積・対流活動については、それぞれの平均値に標準偏差を足した値・平均値から標準偏差を引いた値で3つに区分した(それぞれ図2・4中の一点破線で示す)。高気圧面積は「大」, 「中」, 「小」に、対流活動は「活発」, 「通常」, 「不活発」に区分される。この表から、例えば1987年の7月は対流活動が「不活発」であ

り、領域面積は「大」、ギニアモンスーンは「-」、すなわち平年よりも西風が弱まり、南東貿易風は「+」、すなわち平年よりも東風が強まったことを表している。

表1で分類された各区分の全対象期間に対する割合を示したのが表2である。この表から、対流活動が「活発」だった月は全体の15.0%、「通常」

850hPa Wind velocities Jul 1979-1998



850hPa Wind velocities Aug 1979-1998

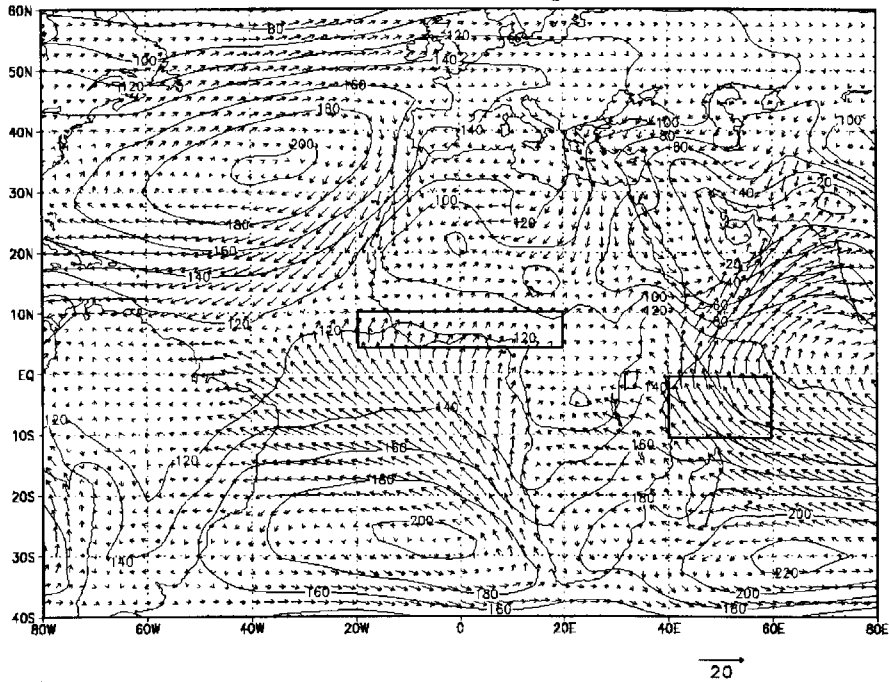


図5 7・8月の北アフリカ領域における月平均850 hPa面での高度場、および風向風速の20年間平均図 (1979-1998年, 単位は高度場がm, 風速がm/s, □はギニアモンスーン・南東貿易風の年偏差を求めるための対象領域を示す)

表1 北アフリカ領域における7・8月の平均OLR値・
亜熱帯高気圧領域面積・下層風を指標とした年毎の分類
(1979-1998年, Gはギニアモンスーンの偏差, Tは南東
貿易風の偏差を示す)

月	年	対流活動	高気圧面積	G	T
7月	1979		大	+	+
	1980			+	+
	1981	活発		+	-
	1982	不活発		-	-
	1983	不活発		-	+
	1984		小	-	-
	1985			+	+
	1986			+	-
	1987	不活発	大	-	+
	1988	活発		+	+
	1989			-	+
	1990			-	-
	1991			-	+
	1992		小	+	+
	1993			-	+
	1994	活発	小	+	+
	1995		小	+	-
	1996			-	-
1997	不活発		+	-	
1998		大	+	-	
8月	1979		小	+	-
	1980		大	+	+
	1981			-	+
	1982			+	+
	1983	不活発	大	-	-
	1984	不活発		-	-
	1985			-	+
	1986			-	-
	1987			-	+
	1988	活発	小	+	+
	1989		小	+	+
	1990	不活発	大	-	-
	1991			+	+
	1992			+	-
	1993			-	-
	1994	活発		+	+
	1995			+	+
	1996			+	-
1997		大	-	-	
1998	活発	大	-	+	

は67.5%、「不活発」は17.5%であった。また高気圧面積が「大」だった月は全体の20.0%、「中」は62.5%、「小」は17.5%であった。また下層風が「G+T+」（ギニアモンスーンの西風が平年よりも強く、南東貿易風の東風も平年より強い）だった月は全体の32.5%、「G+T-」は20.0%、「G-T+」は22.5%、「G-T-」は25.0%であった。

さらに、亜熱帯高気圧の領域面積によって区分した「不活発」の割合をみると、高気圧面積が「大」であった月の37.5%が「不活発」（高気圧面積が「大」の8年のうち、3年が「不活発」）にあたるのに対し、高気圧面積が「小」であった月で「不活発」であった割合は0%であった。すなわち、北アフリカ領域における高気圧面積が拡大するほど、解析地域であるサヘル地域における対流活動は不活発となりやすい傾向がみられた。一方、対流活動が活発となる割合をみると、高気圧面積の小さい区分の順から（「小」、「中」、「大」の順に）28.6%、12.0%、12.5%と必ずしも高気圧面積に対応しているとはいえない。これに対して、下層風の平年偏差によって区分した対流活動との関係を見ると、下層風が平年よりも強いときには対流活動活発年の割合が増え、弱いときには不活発年の割合が増える傾向が得られた。

以上のことから、対象地域であるサヘル地域において対流活動が不活発となった年には高気圧の勢力の拡大がみられ、沈降気流が強まることが考えられる。しかし、対流活動が活発となるには高気圧の勢力が縮小し沈降気流が弱まることよりもギニアモンスーン・南東貿易風などの下層風の収束の影響が考えられる。

4 おわりに

本稿では、10~15°N, 20°W~40°Eの北アフリカ、サヘル地域における対流活動とそれを抑えると考えられる亜熱帯高気圧、および対流活動を強

表2 表1の各指標別割合 (Gはギニアモンスーンの偏差, Tは南東貿易風の偏差を示す) (%)

対流活動	高気圧面積				下層風			
	大	中	小	G+T+	G+T-	G-T+	G-T-	
	20.0	62.5	17.5	32.5	20.0	22.5	25.0	
活発年	15.0	12.5	12.0	28.6	30.8	12.5	11.1	0.0
通常年	67.5	50.0	72.0	71.4	69.2	75.0	66.7	60.0
不活発年	17.5	37.5	16.0	0.0	0.0	12.5	22.2	40.0

めると考えられる下層風の3者の関係について考察を行った。

その結果、解析地域において対流活動が不活発となった年には高気圧の勢力の拡大がみられた。さらに、下層風が平年よりも強いときには対流活動活発年の割合が増え、弱いときには不活発年の割合が増える傾向が得られた。以上のことから、対流活動が不活発となった年には高気圧の勢力の拡大がみられ、沈降気流が強まることが考えられる。しかし、対流活動が活発となるには高気圧の勢力が縮小し沈降気流が弱まることよりもギニアモンスーン・南東貿易風などの下層風の収束の影響が重要である。

今後は、亜熱帯高気圧・ギニアモンスーン・南東貿易風の熱帯対流活動に対する寄与を明らかにするため、詳細な解析を行いたい。

注

1) OLRとは外向き長波放射のことであり、熱帯地域においてOLRの値が小さく表れることは、対流活動が活発で高度が高いことによる低温な雲頂からの放射を示している。すなわち、熱帯地域においては対流活動の強弱をみる指標として用いられる。

参考文献

- 気象庁編 (2000) : 気候系監視報告. 別冊第6号. 一再解析データの評価と利用—2-11.
- 三上岳彦 (1974) : 北太平洋高気圧領域の経年変動. 地学雑誌, 81 (1), 38-47.
- Kalnay, E., et al. (1996) : The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bulletin of the American Meteorological Society, 77 (3), 437-472.
- Sinoda, M. and Kawamura, R. (1994) : Tropical Rainbelt, Circulation, and Sea Surface Temperatures Associated with the Sahelian Rainfall Trend. Journal of the Meteorological Society of Japan, 72 (3), 341-357.

あきやま ゆかり

お茶の水女子大学大学院 人間文化研究科・複合領域科学専攻