

研究ノート

ブラジル北東部の雨量の変動特性と旱魃

Rainfall Variation and Droughts in Northeast Brazil

田 瀬 則 雄*

Norio Tase

コーヒー、アマゾン、日系移民などで知られるブラジルに半乾燥地域が存在することはあまり知られていない。この半乾燥地域の存在は気候学的にも興味ある事項である(福井, 1970)。この半乾燥地域の特性は平均降水量の少なさによるよりも、むしろ季節的あるいは年による雨量の不規則性にある。この不規則性は旱魃と洪水をたえずこのブラジル北東部にもたらしている。

北東部は面積ではブラジル全体の20%、人口は30%をしめ、その平均所得は全国平均の半分以下と低く、ブラジルでも開発の遅れた地方の一つである(桑村, 1975)。この開発が遅れている主原因が周期的に襲ってくる旱魃といわれている。多くの研究者(Freise, 1938; Namias, 1972; Hastenrath & Heller, 1977; Kousky & Chu, 1978 など)が旱魃の実態、発生周期、発生メカニズム、そして予測について研究を行ってきている。しかし Hall (1978) のように、いわゆる旱魃は単なる気候学的問題でないとし、旱魃による悲劇は、多くの小農民をわずかな気候変動にも影響されるような状況においている北東部の社会構造の直接の結果であるとする見解もある。筆者もこの Hall の見解に賛同するものであるが、この社会的要因を適切に評価し、適当な対策や改革を行うためには、旱魃の気候学的側面を正しく認識する必要があると考えられる。

本論では、ブラジル北東部の雨量の変動特性につき若干の検討を行い、旱魃とその対策の歴史を整理し、ブラジル北東部の旱魃の意味・問題点に簡単にふ

* 筑波大学地球科学系(水文学)

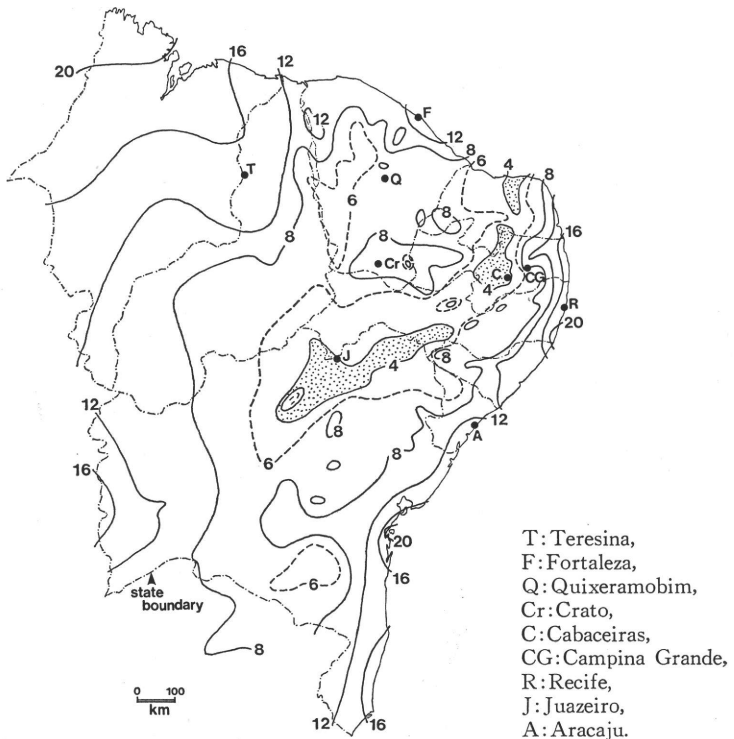
れる。

雨量の変動性

一般に乾燥・半乾燥地域は降雨の時間的・空間的変動がはげしい。特にブラジル北東部の半乾燥地域はその変動が大きいようである。本論では主に時間的な変動特性、特に年、季節、月雨量の変動特性について述べる。

Fig. 1はブラジル北東部の年平均雨量の分布を示したものである。東部の海岸地帯およびアマゾン寄りの北部で2000 mmを越えるが、内陸部は600 mm前後で、セアラ州中部、パライバ州中部、バイア州北部には400 mm以下(図中点描部)の半砂漠も存在する。また、図には明確に現われていないが、ブレジョと呼ばれる島状の多雨地が点在する。この年平均雨量の分布をみるかぎり、

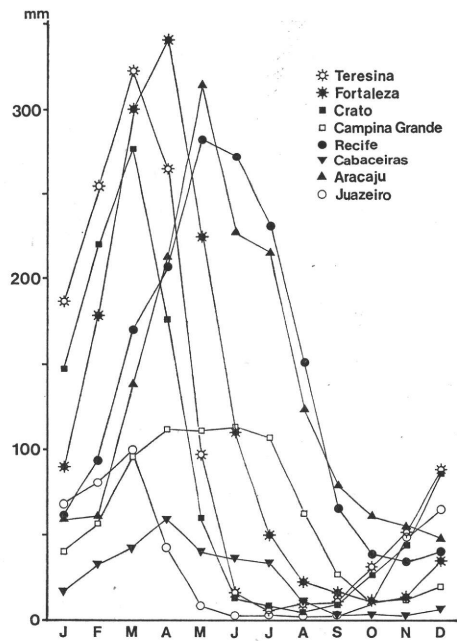
Fig 1 ブラジル北東部の年雨量分布 (100 mm).



ブラジル北東部が必ずしも雨量が少ないとは言えない。すなわち、600mm前後の年雨量はヨーロッパ（たとえばパリは585mm、ローマは653mm、マドリッドは419mm）などとほとんど変わりがない（ただし、高温のため蒸発散として失われる量が多く、利用可能量は少なくなる）。

絶対量でなければ、なにがこの北東部に早魃をもたらすのであろうか。この大きな原因は雨期と乾期の存在である。しかも、後述するように、乾期は確実にやってくるうえに、雨期の変動が非常にはげしい。Fig. 2は北

Fig 2 月平均雨量の変動



東部の8地点における月別平均雨量の分布を示したものであるが、雨期と乾期が明瞭である。乾期の長さは3～6ヶ月程で、その間の月雨量は東海岸を除いて20mm以下となっている。また、図に示されるように、雨期はほぼ北西から南東へとさがってくる。これはITCZ(熱帯収束帯)の移動に対応しており、早魃の発生はよりグローバルな大気の動きと関連している(1)。

Fig. 3にFortalezaにおける年雨量(2)の変動を1850年より1970年までの121年間について示した。また、Table 1にFortaleza, Quixeramobim, Belem, Manaus, 東京, 多渡津における年降水量の平均, 最大値, 最小値, 標準偏差, 変動係数(標準偏差/平均), 最大値/最小値を比較した。

Fig. 3に示すように年雨量の変動は大きく、379～2807mmの間を変動する。このFortalezaの年雨量が900mm以下の時が後述する北東部の早魃発生年とほぼ一致する。逆に2000mm以上になる場合も多々あるが、この場合極端に多くなる傾向がある。これら変動性の大きさはTable 1の変動係数や最大値/

Fig 3 フォルタレーザの水年雨量の変動 (m: 平均, S: 標準偏差

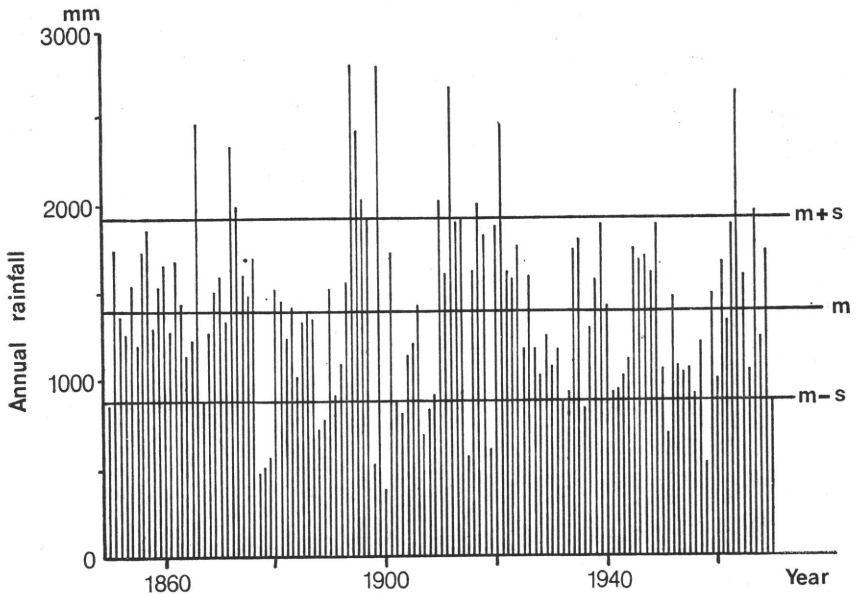


Table 1 ブラジルと日本の年降水量統計値の比較

Name	Mean. (mm)	Max. (mm)	Min. (mm)	S. D. (mm)	C. V.	Max. / Min.	Period (year)
Fortaleza*	1397.8	2807	379	521.8	0.373	7.406	1850-1970
Fortaleza**	1316.8	2425	503	445.4	0.338	4.821	1931-1964
Quixeramobim***	728.4	1350	319	242.3	0.333	4.232	1921-1972
Belem***	2244.4	3248	910	507.8	0.226	3.569	1912-1972
Manaus***	2157.5	2842	1559	332.7	0.154	1.823	1931-1972
Tokyo	1540.8	2229.6	1011.3	259.9	0.169	2.205	1876-1970
Tadotsu	1144.4	1714.2	662.0	192.3	0.168	2.589	1893-1970

Data Source: *Markham(1974), **Markham(1967), ***Japan Meteorological Agency(1975)

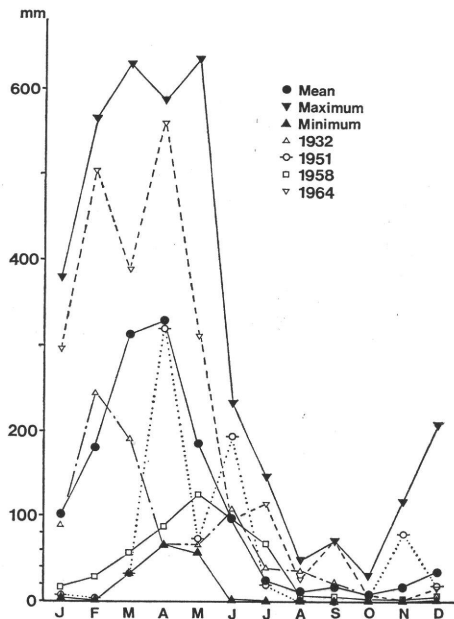
最小値の大きさに表われているが、参考にあげた東京や多渡津との比較からも理解できよう。特に日本の早魃地帯の代表地多渡津との比較からは、日本とブラジル北東部の早魃の様相の差異がある程度理解できよう。Fortalezaの南西180 kmのQuixeramobimは同様な傾向を示すが、Belem, Manausと北へ行くに従って変動性が小さくなってゆく。

また、Fig. 3 をみると少雨年と多雨年が集中的に発生したり、しなかつたりする期間がある。たとえば、1880～1920年は変動がはげしいが、1850～60年代と1940年代は比較的安定している。このような点から周期性の検討が多々行われてきた(Markham, 1974; Kousky & Chu, 1978 など)。Markham (1974)は13年と26年の周期がみられるとしたが、Jones et al. (1976)はその統計的誤りを指摘し、再検討の結果有意な周期はないとした。筆者もFortalezaとQuixeramobimについて自己相関係数(ラグ50とラグ25まで)を計算したが、95%水準で有意な周期をみいだすことはできなかった。Kousky & Chu(1978)は約140地点でのスペクトル分析の結果、2～3年、3～5年、そして10～20年にスペクトルのピークがみられるとした。これらのことから、必ずしも早魃の発生に明確な周期はないようだが、ひとたび早魃が発生すると2～3年続く可能性はあると考えられる。

Fig. 4はFortalezaの月雨量(1931—1964)の平均、最大、最小、そして代表的な早魃年と最多雨年の月雨量

の変動を示したものである。月平均雨量は4月にピークに達し、乾期の8～11月の4ヶ月間は月雨量が20mm以下になる。この乾期は確実にやって来る点に大きな特徴がある。すなわち、34年間(欠測があり33年の月もあるが)の変動幅が非常にせまく、10月などは34年間すべて30mm以下であった。それにひきかえ、雨期はまったく不安定であり、2～4月は降るか降らないかにより雨量が数mmから600mm前後と年により変動し、しかもその分布は平均値付近にかたまらず、かなり一様

Fig 4 フォルタレーザの月雨量の変動



である。従って、雨期に十分な雨量があるかないかにより、ブラジル北東部の早魃の発生が決定される。早魃が発生する場合、雨期はほとんど雨が降らないタイプ(たとえば 1958 年)と雨期が遅れたためのタイプ(たとえば 1951 年や 1976 年)に大別される。後者の場合、種まきとの関係からであり、3 月 19 日の St. Joseph's Day までに雨期が到来しないと早魃になると伝統的に言われている(Hall, 1978)。また、1932 年のように雨期が早く終わってしまう年は収穫ができずに早魃となる。

一雨^{ひとあめ}の降り方にも特徴がある。すなわち、短時間に集中し、しかも空間的には非常に狭い範囲の場合が多い。このような降り方は土壤侵食あるいは砂漠化の大きな原因となり、土地利用・管理の重要性が認識されなければならない。

以上のように、ブラジル北東部の降雨のあり方は確かに不安定であり、開発にとって大きな障害であることにまちがいはない。しかし、平均的な雨量を見る限り、必ずしも少なくない。このことは水資源の管理の仕方や土地利用の方法などによって、かなり降雨の変動性を吸収できる可能性があるとも言える。逆に言うと、社会的対応が必ずしも適切でなかったとも考えられる。

早魃の歴史と対策

早魃には必ず自然的要因と社会的要因が存在するため、早魃とか渇水の定義はなかなかむずかしく、立場によりいろいろな定義がなされている(Palmer & Denny, 1971)。

早魃の発生は、基本的には先に述べた気候の変動、雨の少なさによるものであるが、その他の自然条件も重要である。ブラジル北東部は気候の変動性のほげしさだけでなく、それをある程度緩衝し得る自然条件を持っていないことも指摘されねばならない。それは地質条件である。北東部の内陸部をしめる先カンブリアの結晶質岩は、一般に降雨に対し浸透性が悪く、地下水の帯水層としての価値も低く(田瀬, 1982)、また気候・植生条件とも関連して土壤の発達も悪い。このため保水力がほとんどないので、早魃の影響を緩和することができない。

そして、これら自然条件で緩衝できない変動を吸収するのが、貯水池の建設やかんがい事業などの対策である。

以下早魘と対策の歴史を簡単にふりかえり、対策の問題点や今後の方向に若干ふれる。ここでは、Freise(1938)、山本(1968)、福井(1970)、Webb(1974)、Hall(1978)、Correa(1981)等の文献を参考にした。

ブラジル北東部の早魘の記録は1583年までさかのぼれ、それ以降の早魘の発生年をまとめたのがTable 2である。1850年以後についてはFig. 3と比較すると対応のよさが理解できよう。平均すると4～5年に1度の割合で、さらに大早魘が10～20年ごとに起っている。20世紀に多くの早魘が起っているが、開発や土地利用、人口動態などの社会的条件と関係があるものと考えられる。

Table 2 ブラジル北東部の早魘発生年

1583	1710-11	1804	1900
1587	1721	1809	1902-03
1603	1723-27	1816-17	1904
1614	1736-37	1824-25	1907
no available record until 1682	1744-45	1827	1915-16
	1754	1830	1919
	1760	1833	1930-32
	1772	1844-45	1936
	1777-78	1877-79	1942-43
	1784	1888-89	1951
	1790-93	1891	1953
		1898	1958
			1969-70
			1976
			1979-81

Table 2 の中でまず特記すべき早魘は1877～1879年のものである。この早魘は死者50万人、家畜の75%が失われたと言われており、ブラジル政府が初めて公式に国家災害と認めた大早魘であった⁽³⁾。1879年12月 National Commission of Enquiry は貯水池建設、交通網改善、井戸掘削などを提言したが、財政難、技術・組織なし、政府の関心なしで計画どまりであった。ただ1つだけ完成したプロジェクトは Açude Cedro(1906年完成)であった。そしてこの後60年間、この貯水池を作るという早魘対策が続くこととなる。

政府は1906年 SEOCES を設立、名称は1900年 IOCS、1918年に IFOCS となり、早魘対策を開始した。しかし、自然科学者と土木技術者が中心であっ

たため、最も効果的な対策は大貯水池(Açude)を作ることだと考えていた。もちろん、井戸の掘削、地質調査、気象観測所や道路の建設なども行ったが。

1932年の早魃時に、IFOCsは22万人の被災者のために貯水池や道路建設事業を行い、国家歳入の10%が北東部に投入された。さらに、1934年新憲法により国家税収の4%を早魃救済のために使用することが決められた。

1945年の早魃の後、IFOCsはDNOCSとなり、本部もFortalezaへ移ったが、早魃の長期的対策としては依然として貯水池建設が主流であった。貯水池の数と容量は着実に増加していった(1955年29億 m^3 、1960年78億 m^3 、そして1972年には253貯水池、114億 m^3)。同年サンフランシスコ川の水力資源開発のためCHESFが、1948年にはCVSFが設立された。

大貯水池建設は大地主と周辺のわずかな小地主にしか恩恵がなく、DNOCSの政策は北東部の農民層(最も早魃の影響を受けやすい下層農民)に対してはなんの役にも立たなかった。1951年の大早魃には大量の被災者がで、新しい考え方、より広範な社会・経済的政策の必要性が認識され、1952年にはBNBが設立された。しかし、DNOCSの政策に変化はなかった。そして1958年の大早魃がブラジル北東部の転機となった。1958年当時、すでに200以上の大貯水池、道路網は全国平均の3倍などの好条件下にありながら大早魃となり、また贈収賄、不正行為、いわゆる早魃実業家とのゆ着などDNOCSの権威は完全に失墜した。

1959年、DNOCS、CVSF、BNBなどの活動を調整するため広範な権力を持った新しい機関・SUDENEが内務省に設立された。これによりDNOCSは早魃対策としてかんがいを真剣に考え始めた。SUDENEは調整だけでなく、自ら企画、実施も行なった。たとえば、フランスの協力を受けた公共所有かんがい事業(Morada Nova Project)を推進した。

1967年にCUSFはSUVALEとなり、「国家的統合の川」と称されるサンフランシスコ川流域の開発を担当することになった。

1971年、内務省は長期かんがい計画(PPI)をたて、10年間で約20万haをかんがいする事業を計画し、DNOCSとSUVALEがこれらの事実を施行した。残念ながら、完成したプロジェクトはベベドロー計画(肥田、1974)などわずかで、目標のかんがい面積をはるかに下回っている。

この後、国家統合計画の一環として北東部の開発が進められているが、アマゾン開発との関連もあり、1960年代初め程財政的にめぐまれているのも事実である。

以上のように北東部の旱魃対策は、Açude Cedro に始まる大貯水池の建設が中心であった。そして残念ながら、それは利用するための貯水池ではなかった。もちろん恩恵を受けた大地主はいたが、筆者が現地を2ヶ月程おとずれていた間(1979年12月～1980年2月)、残念ながらこの貯水池を利用している状況はあまり多くはみられなかった。このような状況のため、大貯水池を作るのは水を利用するためでなく、気候を改変するためであると信じている人々がいるとのことである。

大きな貯水池を建設することは、ブラジル北東部の地形・地質条件からみて比較的容易なことである。しかし、その大貯水池を大規模なかんがい源として利用するためには、施設、資金、そしてなによりも組織が必要である。残念ながら、今の北東部にはその組織、特に利用する側(小地主や小農民)に組織がない、あるいは形成できない。

このような観点から、先に筆者(1981, 1982)が提案した地下貯水池は、小規模で、内陸部のどこにでも手軽にでき、しかも維持管理が容易であるので、今後検討する価値のあるものと考えられる。特に、個々の小地主や小農民がこの地下貯水池を管理する手法を修得した折には、大貯水池との結合により、より安定した大規模かんがいも可能になると考えられる。

浅学をかえりみず、大きなタイトルで尻すぼみの感がある点をお許しいただきたい。不十分な点、不明な点が多々あることとしますので、御教示いただければと思います。末筆ながら貴重な御意見や資料を提供していただきました筑波大学山本正三・西沢利栄両教授にお礼申し上げます。

注

- (1) このような観点から旱魃の予測を行おうとしている研究は比較的多い(Namias, 1972; Hastenrath & Heller, 1977 など)。
- (2) 年雨量は水年(前年11月から10月までの1年)単位である。データはMarkham (1974)による。

- (3) 1846～1876年の間、旱魃らしい旱魃が発生せず、開発が内陸の半乾燥地域まで入り込んでいったことが大きな被害を受ける一つの要因となった。これは1970年代の西アフリカ・サヘル地方の旱魃の様相と酷似している。

文 献

- 桑村温章(1975)：『ブラジル』時事通信社，289 ページ。
- 田瀬則雄(1982)：ブラジル北東部の地下水開発と問題点。日本地下水学会会誌，24，39-45。
- 肥田登(1974)：ベベドロー計画 PROJETO BEBEDOURO について——ブラジル・ノルデステのかんがい事業の一例。第三次ブラジル北東部自然環境調査報告，102-117。
- 福井英一郎(1970)：ブラジル北東部の気候。地理学研究報告，XIV，11-29。
- 山本正三(1968)：ブラジル北東部の風土と社会(-)(-)，地理。13，(3)27-33，(5)56-63。
- Correa, M. (1981) : Os sertões do nordeste morrem de sede. *Veja*, No. 654, 44-57.
- Freise, W. F. (1938) : The drought region of northeastern Brazil. *Geogr. Rev.*, **28**, 363-378.
- Hall, A. L. (1978) : *Drought and Irrigation in North-East Brazil*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 152 p.
- Hastenrath, S. (1976) : Variations in low-latitude circulation and extreme climate events in the tropical Americas. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 202-215.
- Hastenrath, S. and Heller, L. (1977) : Dynamics of climatic hazard in northeast Brazil. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, **103**, 77-92.
- Jones, R. H., and Kearns, J. P. (1976) : Fortaleza, Ceará, Brazil rainfall. *J. Appl. Meteor.*, **15**, 307-308.
- Kousky, V. E., and Chu, P. S. (1978) : Fluctuations in annual rainfall for northeast Brazil. *J. Meteor. Soc. Japan*, **56**, 457-465.
- Markham, C. G. (1967) : Climatological aspects of drought in northeastern Brazil. Ph. D. dissertation, Univ. of California, Berkeley.
- Markham, C. G. (1974) : Apparent periodicities in rainfall at Fortaleza, Ceará, Brazil. *J. Appl. Meteor.*, **13**, 176-179.
- Namias, J. (1972) : Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. *Tellus*, **XXIV**, 336-343.
- Palmer, W. C., and Denny, L. M. (1971) : Drought bibliography. NOAA TM EDS 20, Environmental Data Service, Silver Spring, Maryland, 237 p.
- Tase, N., and Ichikawa, M. (1981) : Quality and salinization of surface water in northeast Brazil. *Latin American Studies*, No. 2, 15-35.
- Webb, K. E. (1974) : *The Changing Face of Northeast Brazil*. Columbia Univ. Press,

New York, 200 p.

機関公式名

BNB	<i>Banco do Nordeste do Brasil</i>
CHESF	<i>Companhia Hidroelétrica do Vale do São Francisco</i>
CODEVASF	<i>Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco</i>
DNOCS	<i>Departamento Nacional de Obras Contra as Secas</i>
IFOCS	<i>Inspeção Federal de Obras Contra as Secas</i>
IOCS	<i>Inspeção de Obras Contra as Secas</i>
PPI	<i>Programa Plurianual de Irrigação</i>
SUDENE	<i>Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste</i>
SUVALE	<i>Superintendência do Vale do São Francisco</i>