

1. ベネズエラならびにメコン河流域での熱帯異常降雨と災害

Unusual tropical rainfall and disaster in Venezuela and Mekong River Basin

中北英一*・河井紘輔**・池淵周一***

Eiichi Nakakita, Kohsuke Kawai and Shuichi Ikebuchi

ABSTRACT: Disasters due to unusual tropical rainfall events subsequently occurred in Venezuela and Mekong Delta in December 1999 and 2000. First, this paper briefly shows an aspect of causes and different situations of these disasters taking 1) rainfall event and 2) degree of abnormality into considerations. Then this paper shows some comments on a) what is abnormality for the people in each place and b) what the people can do, taking “human and field” and “regionality on globe” into consideration based on feelings that we got through field surveyies.

KEYWORDS: Rainfall, Abnormal Weather, River Basin, Life Style

1. はじめに

ベネズエラ災害では、土砂災害が年降水量550mm程度の地点で乾季の12月に1200mmに近い、しかも3日間で900mm近い豪雨によりもたらされた、というのが発生4ヶ月後の現地訪問時点でも定説であった。しかし、災害のあったカリブ海沿岸の過去のデータを調査すると、12月が乾季であるのは沿岸から山脈を越えた南側に位置する首都カラカスでのことであり、カリブ海沿岸では雨季に相当し、乾季に豪雨が見られたほどの異常さではないことを明らかにする。しかし、数日～数時間のスケールでは1998年の那須豪雨や2000年の東海豪雨と同程度の異常さを持つ。一方、メコン川流域ではカンボジア、ベトナムに広がるメコンデルタにおいて過去最大の水位を記録した。しかし、降雨原因については現地訪問時に様々な説が飛び交う中まだ定説が得られていない状況であった。幾つかの熱帯性低気圧が7月ならびに9月中旬に来襲したことが一つの原因として挙げられる中、中・上流の水位や降雨量が必ずしも過去のデータと比して異常ではないことが問題となっていた。そこで、中・上流において南西モンスーンによる雨季が早く到来することにより遊水池（湖）を含めた下流域での貯留量を例年に比べて早期に飽和したこと（大規模現象）、熱帯性低気圧が来襲したこと（中規模現象）が一原因であることを明らかにする。なお、本論文では詳細な雨域解析の結果は示さない。

一方、ベネズエラ災害は日本の豪雨災害と同じ突発災害と見なせるが、メコンデルタ洪水災害はその被害額の膨大さに比し住民のシリアスはほとんどなかったこと、モンスーン地帯では洪水が常襲することや大規模かつ緩やかな水位上昇がこの差異をもたらしていることを、現地調査を通しての思いをベースに紹介する。

2. 1999年ベネズエラ豪雨災害

2.1 被災ならびに降雨状況の概要

ベネズエラ北部のカリブ海沿岸地域バルガス(Vargas)地方(図1)において、1999年12月初めから長雨が続き、長雨期間の最後の12月14日から16日にかけては、図2に示すように3日間で900mmという豪雨がわずか40km以下の領域に発生し、バルガス地方を中心に洪水、斜面崩壊、土石流、土砂流などの災害を及ぼす結果となった。その被害は死者・行方不明者を合わせて3万から5万人にも上るとみられ、一説には10万人とも伝えられている。

* 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻 (Dept. of Global Environment Engineering, Kyoto University)

** 京都大学工学部地球工学科 (Dept. of Earth Engineering, Kyoto University)

*** 京都大学防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

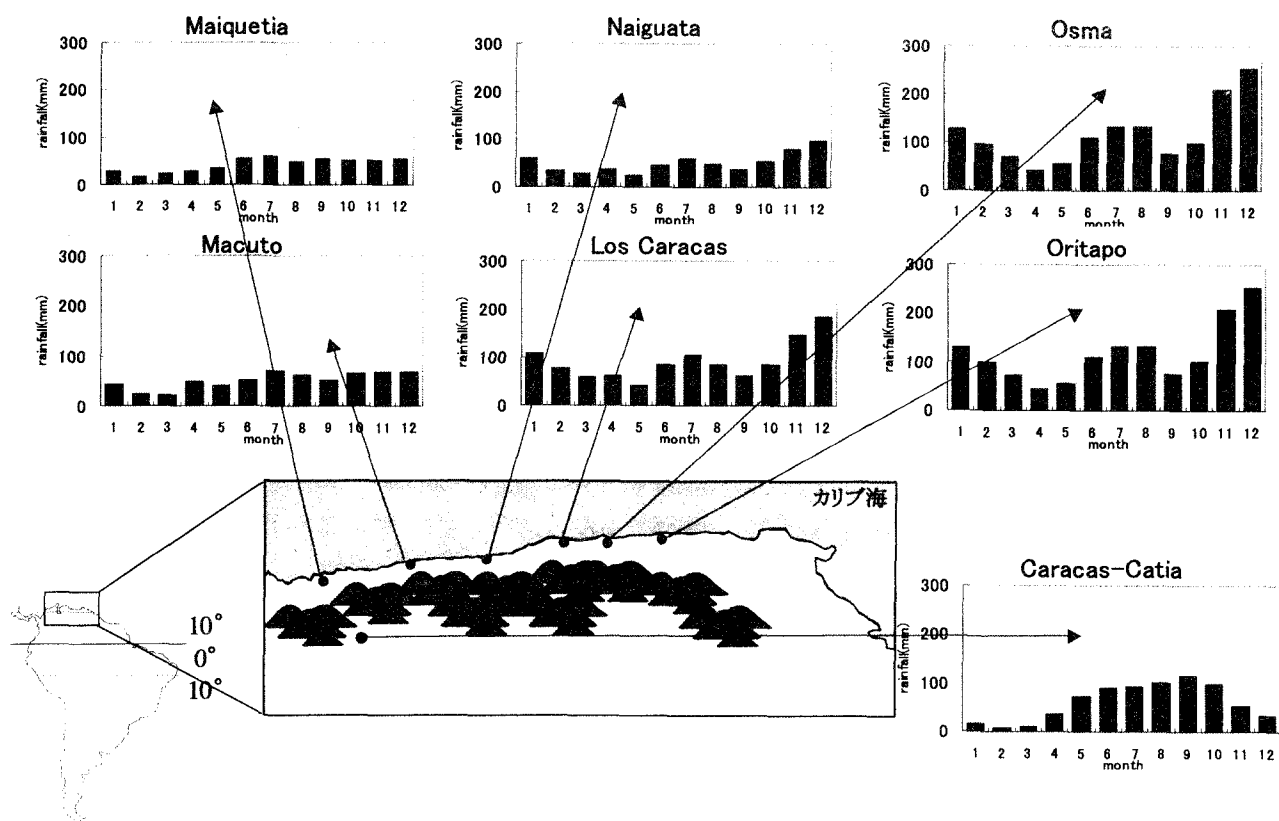


図1 バルガス地方とカラカスにおける月平均降水量 (mm)

洪水, 斜面崩壊, 土石流, 土砂流による災害が起こった場所はベネズエラ北部カリブ海沿岸の約40kmの範囲である。ベネズエラの首都であるカラカス (Caracas) の北部には, 東西に連なる2000m級 (最高2765m) の山脈があり, この山脈の北側山麓が被災地となった。各溪流のカリブ海に面した地域では扇状地になっており, ここ数年における観光開発の影響で大規模なホテルやマンションが建てられている一方で, 貧しい家屋が災害地に密集するという都市形態を形成している。この地域の人口はおよそ40万人と推定されており, 少なくとも1割の人々が災害の犠牲

になった。山地のいたる所で斜面崩壊が起こり, 家屋は次々と土石流, 土砂流に飲み込まれて崩壊してしまい, 多くの犠牲者を生んだ。我々が踏査した体積土砂の下に未だ多くの被災者が埋もれていた。

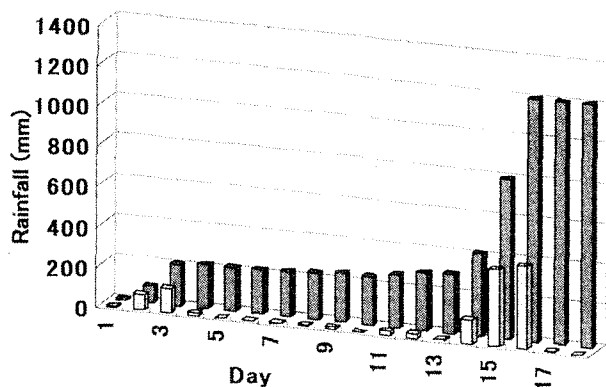


図2 マイケティアにおける1999年12月の日降水量 (mm) (手前) と積算降水量 (mm) (奥)

2.2 バルガス地方の気候・気象特性と1999年ベネズエラ豪雨の異常さ

南米大陸の熱帯域では1年のうちで季節変化が少ない。その理由は, 季節風が卓越する地域に限られるということにある¹⁾。季節風の影響を受けるのはアンデス山脈の東沿いで北緯10度～南緯20度の範囲である。その他の南米における熱帯域は季節風の影響を受けない。それは熱帯収束帯 (ITCZ: Inter Tropical Convergence Zone) がほとんど季節的移動を伴わないことに起因する。ベネズエラ北部カリブ海沿岸地域の気候及び気象状況は以下のようなものである^{2), 3)}。ベネズエラは熱帯に属し, 特に降水量と気温の関係を元にとすると, 大きく5つの部分に分けることができる。中でもカリブ海沿岸地域は「南カリブ海乾燥域」に分類される。この地

域は世界の同緯度地域（北緯 10 ～ 12 度）と比べて降水量が少ない。亜熱帯高圧帯の影響を強く受け、大西洋から吹き付ける偏東風が年中卓越している。偏東風はカリブ海沿岸沿いに吹き非常に乾燥した気流である。

約 30 年間の月降水量データ⁴⁾をもとに、解析を行った結果としてベネズエラの首都カラカスとバルガス地方における月平均降水量(mm)を図 1 に示す。ベネズエラの首都カラカスのカティア (Catia) 地区における月降水量の特徴として、5 ～ 11 月までは雨季でそれ以外の月は降水量が少ない乾季という様に一年を通じて明瞭な区別ができる。一方、バルガス地方の 6 地点における月降水量の特徴として 7 月ならびに 12 月を中心にする雨季のふたつの雨季が存在することが東方の地点ほど顕著になり、ナイグアタ (Naiguata) 以西では特に 12 月が最も降水量の多い月である。

1999 年 12 月に発生したバルガス地方での異常降雨は、カラカスにおける「乾季」に発生していること、異常降雨が発生した地域はカラカスから 20km 程度しか離れていない地域であるため、1999 年 12 月の降雨は「乾季」に発生した異常豪雨と報じられてきたが、12 月に乾季になるのはバルガス地方とは 2000m 級の山脈を隔てた、気候特性が全く異なるカラカスのみである。バルガス地方では 12 月は 1 年のうちで最も降雨発生が顕著な「雨季」にあたる。それゆえに、乾季における「季節はずれ」の異常降雨の発生というよりは、むしろ雨季における「例年にない」異常降雨であると認識した方が賢明である。

また図には示さないが、バルガス地方における月平均降水量の標準偏差 (mm)、変動係数 (%) を調べた結果、3 月及び 4 月の変動係数 (%) が他の月よりも大きい。しかし、月平均降水量 (mm) と標準偏差 (mm) の合計を、変動係数が 1 年のうちで最も大きい月と雨季の 12 月に関して比較すると、マイケティアでは、変動係数の最も大きい 3 月は 68.0mm であるのに対し、12 月は 115.0mm である。また、オリタポでは変動係数が最も大きい 4 月は 348.9mm であるのに対し、12 月は 420.2mm である。すなわち、乾季に変動係数が最も大きくなるが、月平均降水量と標準偏差の合計は 12 月の方が多く、乾季に平年値を大きく上回る降雨が発生したとしても雨季における降雨ほどには影響を及ぼさない。また、雨季に入り、12 月に近づくにつれて標準偏差が大きくなり、またマイケティアの変動係数が他の地点と比べて大きく、被害を及ぼし得るような多量の降雨が発生し得ることを示している。それでも 1200mm という月降水量はかなり異常であったといえる。

3. 2000 年メコンデルタ洪水災害

3.1 メコン河流域の降雨特性

通常 5 月頃から 10 月末にかけては、インド洋からインドシナ半島に向けて吹き込む南西モンスーンが卓越する時期である。特に南西モンスーンは夏期季節風とも言われ、海洋からの大量の湿気を含む暖かい季節風である。南西モンスーンは 5 月末頃からメコン河流域全体に吹き込み、流域に大量の降雨をもたらす。一方、11 月から 3 月までは比較的乾燥した北東モンスーンが卓越する時期である。この北東モンスーンはベトナムの海岸地域に雨をもたらすが、インドシナ半島のその他の地域への影響は少ない。

南西モンスーンが卓越する 5 月から 10 月のメコン河流域全体における降水量は年降水量の 88% にも及ぶ。図 3 はメコン河上流から下流にかけての代表 9 地点における月平均降水量 (mm) (実線) と標準偏差 (mm) (破線) 及び変動係数 (%) (短破線) を表したものである (本論文ではメコン河流域を定義する際、タイ北部及びラオス北部を上流域、タイ南部、ラオス南部、カンボジア北部及びベトナム中西部を中流域、カンボジア南部及びベトナム南部を下流域と呼ぶ)。なお、これらの算出の際のデータはメコン委員会提供の過去約 30 年の日降水量データを用いた。メコン河の流域面積は 79.5 万 km² に及び、インドシナ半島のメコン河流域では降雨の性質が各地域によって若干異なる。図 3 に示した地域における降雨は、どの地点にも共通して見られるように雨季と乾季に大別できる。インドシナ半島ではアジアモンスーンが卓越する。特に 5 月を過ぎるとインドシナ半島に雨域をもたらす南西モンスーンが出現し、雨季の始まりを告げる。また、メコン河上流から下流に下る形で月平均降水量を追ってみると、下流に行くにつれて雨季が二山になっていることがわかる。一旦、6 月まで降水量が増加していくが、7 月にはやや降水量は減少し 8 月に再び増加する傾向がある。

ここで、各地点の変動係数の季節変動に注目すると、乾季となる 10 月を境に変動係数は大きくなり、降水量の最も少ない時期に変動係数は高くなる。そして、雨季が近づくにつれて変動係数は減少し始め、5 月頃の

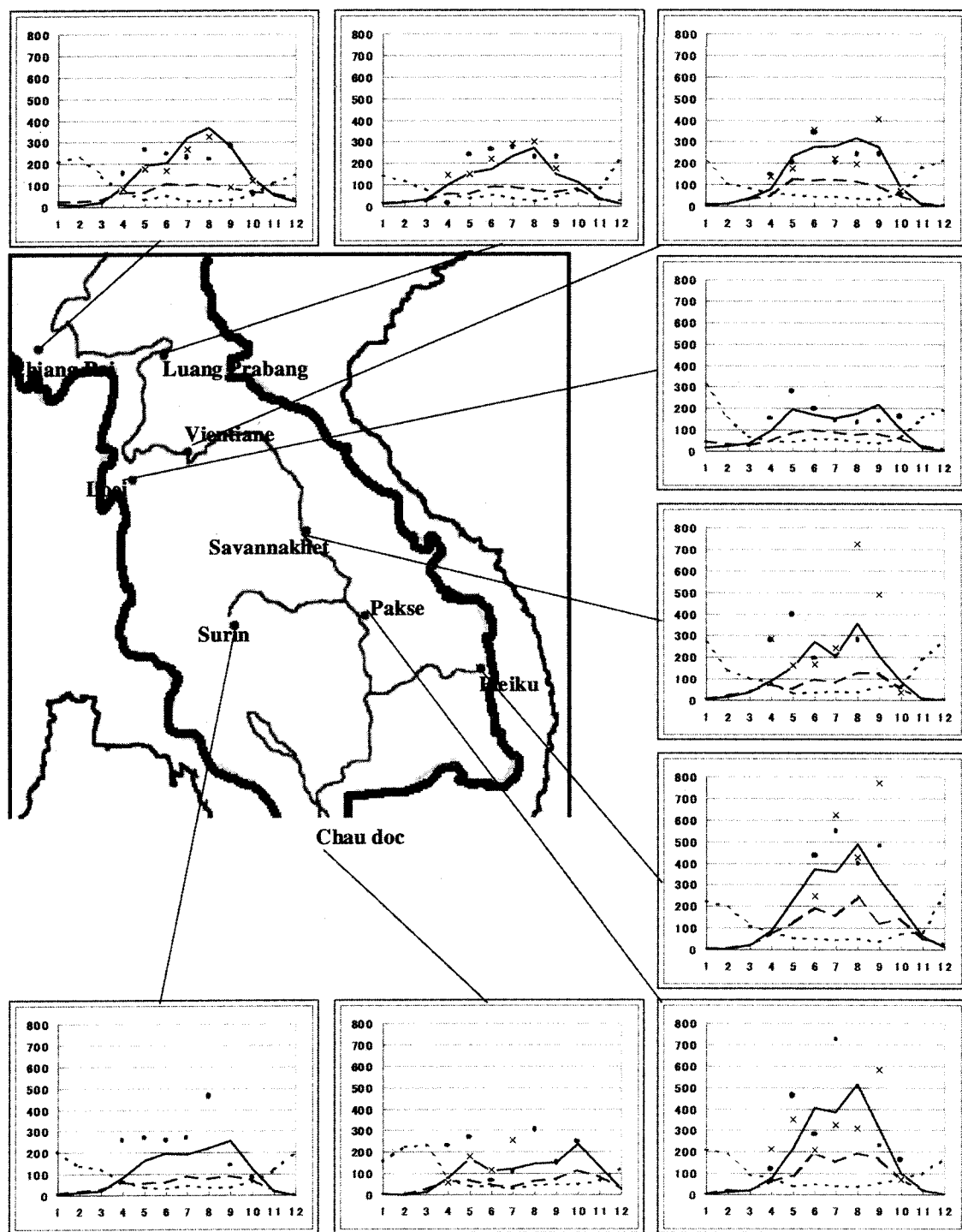


図3 メコン河流域の月平均降水量(mm)(実線)，標準偏差(mm)(破線)，変動係数(%) (短破線)，1996年(×印)及び2000年の月降水量(●印)。

雨をもたらす南西モンスーンが出現する頃には大きく落ち込む。そして雨季には変動係数は1年のうちで最も低い値を保ち雨季の終わりと同時に上昇し始める。すなわち、雨季における降水量は1年のうちで最も多いが、毎年、平均値から一定の範囲内で必ず降水が見込まれる。言い換えると、毎年雨季に降る雨の量はあまり変動せずに一定範囲内にあり、これがメコンデルタの人々をして洪水と共存させている所以である。

3.2 2000年の洪水及び降雨状況

図4はカンボジアのプノンペン(Phnom Penh)における水位ハイドログラフである。縦軸は水位(m)，横軸は1月から12月までの月、横軸に平行に引いた破線は警戒水位を表す。デルタ最上流では水位ハイドログ

ラフは鋭敏な動きを呈するが、下流へ移行するにつれ鈍くなる。2000年の大洪水はプノンペンにおいて警戒水位を超えることとなった。

通常、北東モンスーンの卓越する乾季の間、プノンペンにおけるメコン河の水位は下がり、乾季の終わる4月がもっとも低い水位を示す。そして5月に入り、南西モンスーンが現れ始めると、降水量の増加とともに水位も徐々に上昇する。そして雨季の終わりに近づく10月初めに水位はピークを迎える。また、プノンペンの北西にはトンレサップ湖という大湖が控え、遊水効果により雨季になるとメコン河下流域の洪水を軽減させる役目を荷う。しかし、2000年の水位は5月にはすでに平均水位を大きく上回っている。6月も平均水位よりはるかに高い状態で水位が上昇し、7月末に警戒水位に近づき、8月の水位はやや落ちついていたが、9月初めについに警戒水位を超えた。本来は遊水地として機能するはずのトンレサップ湖だが、2000年に関しては7月における1度目の洪水の時に満杯状態になってしまったために、9月における2度目の洪水の際には貯留する容量がなく、洪水が下流へ広がった。

では、メコン河上流域（タイ北部及びラオス北部）での最高水位はどうであったのだろうか。メコン委員会提供の資料⁴⁾であるメコン河上流の2000年最高水位の順位と7月～10月の積算降水量（mm）を表1、表2に示す。これによると、2000年の最高水位はチェンセン（Chiang Saen）で歴代5位、ルアンプラバン（Luang Prabang）で歴代10位、ビエンチャン（Vientiane）で歴代17位であり、下流域で歴史的な水位を記録しているのに対し、上流域での水位はそれ程でもない。また、同じ資料に基づく7月～10月の積算降水量を平年値と2000年とで比較する。ローエイ（Loei）での平年値は649mm、一方2000年は594mmである。また、ビエンチャンでは平年値は959mmで、2000年で

は763mmであった。メコン河上流の広範囲の地域で2000年の7月～10月の積算降水量が平年値よりも低かった。この様に、メコン河上流域での最高水位は歴代1位、2位という程のものでもない。また、7月から10月という雨季の総降水量もそれ程多い訳ではない。それでは何がカンボジア以南の最高水位をもたらしたのだろうか。

まず水位グラフにもう一度着目すると、図にはプノンペンしか示していないが、下流域であるカンボジアのいずれの地点においても水位ハイドログラフは通常より早い段階から水位が上昇している。もし5月、6月における降水量が平年よりも多い場合、このように通常よりも早期に水位が上昇すると考えられる。そこで雨季の総降水量ではなく、月降水量に着目する。既に示した図3には、2000年の雨季における月降水量（mm）を●印で表し、1996年の雨季における月降水量（mm）を×印で示している。全体的に2000年4月の降水量が平年値に比べて高い。しかし4月の降水量が高いことが洪水を引き起こす直接の原因とは成り得ない。その理由は、平年値と比較して2000年4月の月降水量は高いが、そもそも4月の月平均降水量は雨季と比べると相当小さいためである。しかし、メコン河流域全体で2000年4月の月降水量が例年よりも多いのは、南西モンスーンが例年よりも早く出現して雨季が通常よりも早まったことを示している。雨季の突入が早まれば5月、6月に降水量が平年よりも多くなるであろうと推定される。実際、ラオス北部のチェンライ（Chiang Rai）、

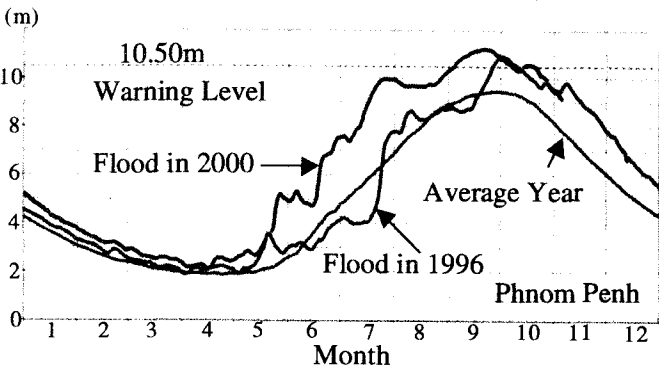


図4 プノンペンにおける水位ハイドログラフ

表1 2000年最高水位の順位と
平年偏差(m)

Station	順位	平年偏差(m)
Chiang Saen	5位	-4
Luang Prabang	10位	-5
Vientiane	17位	-1.2
Savannakhet	1位	
Pakse	2位	-1.1
Kratie	4位	-1.6
Kampong Cam	2位	-0.2
Phnom Penh	1位	
Tan Chau	2位	-0.3

表2 7月～10月の積算降水量(mm)

Station	平年値(mm)	2000年(mm)
Chiang Saen	1086	657
Luang Pr	774	657
Loei	649	594
Vientiane	959	763
Pakse	130	1634.3
Thakhek	1155	1803
Nakhon Phanom	1387	1270
Mukdah	912	638
Ubon	987	896

ルアンプラバン (Luang Prabang) , ローエイ (Loei) でいずれの地点でも2000年5月及び6月の月降水量は平年値を上回っている。

3.3 降雨状況から大洪水の要因特定

2000年にメコン河下流域で生じた歴史上最も大規模な洪水の降雨状況からの要因として、図5に模式図を示す。2000年のメコン河下流域における大洪水は7月以降に到来した熱帯低気圧や台風（崩れ）が原因とされる見方がされていた。しかし、この大洪水の主要な原因としては熱帯低気圧や台風（崩れ）のみではなく、南西モンスーンの早期到来であ

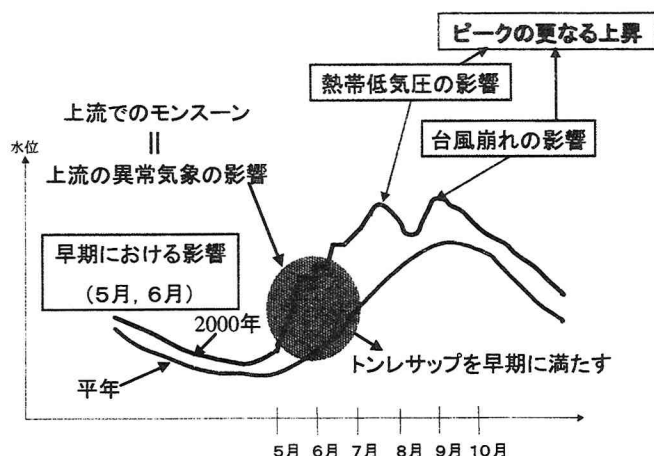


図5 大洪水の原因の模式図

ることが以上より明らかになった。すなわち、通常より早くに南西モンスーンの時期が始まり、4月、5月、6月にはメコン河上流域で平年値と比べて非常に多い降水量がもたらされた。この影響により、下流域で遊水地の役目を果たすはずのトンレサップ湖が早期に飽和状態に至ったと推定される。その上で、7月、9月には水位のピークをさらに上昇させるような熱帯低気圧や台風（崩れ）が襲来し、プノンペンを始め、メコンデルタではこれまでにない過去最高の水位を記録した。異常降雨という観点から述べるとふたつのスケールで説明できる。すなわち、モンスーンという大スケールの気象現象が中・上流域で例年よりも早く始まり、やはり大スケールで見た流域の貯留量を6～7月の時点で飽和に近いものにしたことにより例年より水位の高いハイドログラフのベースを形成したこと、さらには7月中旬、9月中旬に（モンスーンと比較して）小スケールの気象現象である熱帯低気圧の襲来がこの水位グラフにさらに積み重なる形で7月、9月の2つのピークをもたらしたと推定できる。すなわち、大スケールの異常降雨として、インドシナ半島全体で5月、6月に平年よりも早く雨季が到来したこと、小スケールの異常降雨として、メコン河下流域で7月、9月に熱帯低気圧や台風（崩れ）が襲来したことが指摘できる。

4. おわりに - 現地を訪れての雑感 -

あたりまえのことであるが、気象現象・洪水現象を単に自然現象としてのみ捉えるのではなく、地域に深く関わった人々の生活観という側面から捉えることが重要である。メコンデルタの洪水は毎年生じる現象であり、現地の人々は洪水を言わば「日常」として捉えている。2000年の大洪水は例年に比べて被害額的に極めて大きな災害をもたらしたが、洪水直後の訪問時、そこには「笑顔」があった。その場に生きている人々には今回の大洪水はあくまで日常の延長であり、メコンデルタという肥沃で広大な懐の中での生活の一部という感すらあった。受容と忍耐といえるのかも知れない。したがって、流水を河道に閉じ込めるという発想ではなく、魚資源や養分をもたらす洪水と共存する形で、広大な氾濫原の中で局所的に守るという輪中的な取り組みが重要であると感じたし、地元もそういう発想のようである。また、大洪水といえども日に数 cm 程度の水位上昇しかないこの地に於いては、日々の警戒システムというよりはモンスーンの到来時期の予測システムの方が人々の生活を向上させるベースともなろう。一方、1999年のベネズエラでの災害は毎年起こるような現象ではなく、数十年あるいは数百年に一回の頻度で発生する現象である。無防備な市街地に降り注いだ今回の災害を踏まえて今後取るべき対策としては、災害を未然に防ぐようなハードにもまして、適切な土地利用ならびに警戒システム構築という、今後の我が国でも要求されるものが必要であろう。

参考文献

- 1) Nieuwolt S.: Tropical Climatology, An Introduction to the Climates of the Low Latitudes, 1977
- 2) Martyn D.: Climates of the World, 1992.
- 3) Schwerdtfeger W., World Survey of Climatology volume 12, The Climates of northern South America, 1976.
- 4) ベネズエラ気象庁:ベネズエラ北部における 1999 年の自然災害, 2000.
- 5) Technical Support Division & WRH Programme (OP. Div.), Available 2000-Flood & Related Data in MRCS, 7 November 2000.