

地球温暖化問題への水工学委員会の取り組み

山下 隆 男

広島大学大学院国際協力研究科 (〒739-8529 東広島市鏡山1-5-1)

E-mail: tkoyamashita@hiroshima-u.ac.jp

水工学委員会地球環境水理学小委員会の2007-2008年度の活動を紹介した。主な結果は以下の様である。(1)地球温暖化問題に対して、水災害への適応策がクローズアップされているが、大気・水環境問題への適応策として対応すべきである。(2)短期中期的な適応は極めて重要であるが、この場合、気候変動における「ゆらぎ」を考慮した適応策の必要性を提案した。特に今後約30年間は、わが国においては、大気・水環境において厳しい期間となることが予想されるので、迅速で想定外力を高くした適応策の検討が必要であろう。(3)地球環境水理学小委員会の2008年度の調査研究活動として、長江・東シナ海系における中国三峡ダムによる環境問題の検討を開始した。

Key Words : Committee on Hydrosience and Hydraulic Engineering, adaptation measures for global warming

1. はじめに

気候変化とその影響に関する観測結果からは、気候システムの温暖化には疑う余地がない。世界平均海面水位は、熱膨張、氷河や氷帽の融解、極域の氷床の融解により、1993年以降では年当たり2.4~3.8mmの速度で上昇している。1900年から2005年にかけての降水量は、南北アメリカの東部、ヨーロッパ北部、アジア北部と中部でかなり増加した。一方、サヘル地域、地中海地域、アフリカ南部や南アジアの一部では減少した。ほとんどの地域において、大雨の発生頻度が増加している可能性が高い。1975年以降、極端な高潮位の発生が全世界的に増加している可能性が高い。雪、氷及び凍土の融解が、氷河湖の数と規模の増大、山岳地域及びその永久凍土地域における地盤の不安定化、北極・南極のいくつかの生態系の変化をもたらした可能性は高い。氷河や雪解け水の流れ込む河川での流量増加と春の流量ピーク時期の早まりが観測されている。

今後、予想される気候変化とその影響としては、大循環モデル(GCM)による数値解析の結果から、21世紀末における世界平均地上気温(1980-1999年を基準とした2090-2099年における差(°C))は、最良の見積もりで、環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社会を想定したシナリオでは、1.8°C、最も排出量が多いシナリオで4.0°Cと予想される。21世紀末における海面水位の

上昇(1980-1999年を基準とした2090-2099年における差(m))は、最も温室効果ガスの排出が少ないシナリオで0.18~0.38m、最も排出量が多いシナリオで0.26~0.59mと予想される。極端な高温や熱波、大雨の頻度は引き続き増加する可能性がかなり高い。熱帯低気圧の強度が増大する可能性は高い。世界的に熱帯低気圧の発生が減少することの確信度は低い。温帯低気圧の進路の極方向への移動と、それに伴う、風・降水量・気温の分布が移動する。降水量は、高緯度地域では増加する可能性が高く、一方、ほとんどの亜熱帯陸域において減少する可能性が高い。これは、観測された最近の変化傾向を継続するものである。今世紀半ばまでに、世界の年間河川流量及び利用可能性は高緯度地域において増加し、中緯度地域と熱帯のいくつかの乾燥地域において減少する。半乾燥地域では気候変化による水資源の減少に苦しむだろう。極端な気象現象の頻度と強度の変化及び海面水位上昇は、自然及び人間システムに、主に悪影響を及ぼすと予想される。

特に、アジア圏においては、2050年までに、淡水の利用可能性は、中央・南・東・東南アジア、特に大規模河川の流域において減少すると予想される。沿岸域、特に人口が集中する南・東・東南アジアのメガデルタ地域において海からの、いくつかのメガデルタ地域においては河川からの、浸水リスクが最も高くなるだろう。急速な都市化、工業化、経済発展に関連する天然資源・環境へ

の圧力に気候変化が複合されると予想される。主に洪水と干ばつに関連して発生する下痢は、水循環のサイクルにおいて罹患率と死亡率を増加させると予想される。

2008年6月26日に発表された、日本学術会議の「地球惑星科学委員会・土木工学・建築学委員会合同、国土・社会と自然災害分科会」の報告書によれば、これら地球環境の変化に伴う水災害への適応が、以下のようにまとめられている。気候変動適応の最前線は水災害対策であり、アジア・モンスーン帯にあって、水との共生、長い戦いの試練の中に、経済成長を成し遂げた我が国に対する期待は極めて大きい。特にその経験、技術、資金力への期待が高まっている。一方、国際貢献は、国際社会において名誉ある地位を得ることであり、それはとりもなおさず、日本の技術・経験に基づいた経済力の強化であり、国の安全保障に他ならない。このことは欧米各国においても同様であり、そのため科学技術に基づく国際貢献は科学技術外交を生み、大きな国際競争になっている。そのような中で、防災を我が国の科学技術外交の中心とすべきとの認識は早くからあり、兵庫行動枠組みの会議設定、ICHARM（ユネスコ後援水災害リスクマネジメント国際センター）の設置などを通じ、世界的にも大きな評価を受けている。しかしながら、実効性の高い国際貢献に向けた国の推進体制は必ずしも十分ではなく、特に戦略的な取り組みにおいて、欧米に比べて遅れていると言わざるを得ない。また、我が国のODA予算は1997年をピークに急速に減少しており、その復活も含め、国際貢献体制全体の再検討が求められている。以上のような状況にかんがみ、防災の国際貢献に関し、以下の施策を実行すべきである。

① 防災支援と開発支援の一体化：防災は災害後の救援を中心とした人道支援に位置付けられるべきものではなく、あらゆる開発行為に付随して計画、実行されるべきものである。現在のOECD DAC（開発援助委員会）の基準を見直し、すべてのODAの項目で災害リスク影響評価（Disaster Risk Impact Assessment (DRIA)）の実施を義務化することが必要である。

② 先端技術、政策技術での支援能力の強化、機動化：我が国の防災支援への期待が最も高く、また国際競争力のある以下の分野を、集中的に強化、機動化すべきである。

- ・長期的気候変化予測、観測、予警報、情報配信・通信技術、水害危険度マップ作成技術。

- ・アジアモンスーン域の持続的発展を支える流域共生圏管理の政策・技術。

③ 能力開発での支援体制の充実：途上国支援は、当該国の持続的発展に向けた自立が目標であり、そのための能力開発・教育支援をさらに充実すべきである。特に水

防災に関するプログラムへの期待は高く、気候変動適応支援の柱とすべきである。

④ 国際技術者集団の育成：我が国の国際貢献技術者、特に技術公務員の海外経験・情報が、効果的に蓄積・活用される体制になっていない。それが国際貢献の国家戦略的实践のブレーキになっている。国際経験を持った技術者集団の育成・維持の体制作りを急ぎ、戦略的実践的情報ハブを形成すべきである。

⑤ 戦略的国際貢献、科学技術外交のための体制作り：国際貢献における科学技術外交は国の安全保障の一環であり、国家戦略の下に統一的・効率的に展開できる、省庁・部局の壁を越えた体制を構築すべきである。

⑥ 今後開かれる重要な国際会議などにおいて、我が国は以下の基本方針を表明し積極的に国際社会に貢献すべきである。

- ・適応策の中心は水防災であり、日本は世界の水災害問題解決に最大の努力を払う。

- ・人命救助は最優先課題であり、そのため日本は、観測・予警報・水害危険度マップ作り等に協力する。

- ・アジア・モンスーン地域の持続的発展を支える流域共生圏構築とその管理のための政策・技術を支援する。

- ・これらに関連した能力開発プログラムを支援する。

- ・防災は開発計画の一環に組み込まれていなくてはならず、これを実行に移すため、我が国のすべての開発支援計画に、災害リスク影響評価を義務付ける。

以上のわが国の提言は、緊急性とインパクトを追求するあまり、災害に重点を置きすぎている点が気になる。災害を環境変化の一側面として捉え、水環境保全の一部に大気・水災害を組み込む提案が望ましいと考える。しかしながら、後述するように、北西太平洋圏では今後20-40年間は、大気・水災害が甚大化する可能性があることから、わが国の得意分野（？）である「防災」技術に重点を置く戦略が適切であるかもしれない。しかしながら、わが国の防災技術が、必ずしも信頼できる域に達していないことも十分認識し、技術移転を強調すること以外にも、今後研究、技術開発面での国際協力を積極的に進展させ、国民、アジア圏の人民の信頼を得るための行動計画も検討すべきであろう。

2. 水工学委員会の活動報告

中央大学、山田 正教授を委員長とした委員会活動が進行中で、水工学委員会、海岸工学委員会、環境工学委員会の3委員会が合同で土木学会地球温暖化対策特別委員会、適応策小委員会の活動を総括する予定である。

ここでは、第1、2回の適応策小委員会の内容を総括

するが、水工学委員会の活動としての総括は行わない。

○温暖化による外力変化

- ・洪水外力の増大
- ・斜面災害外力の激化
- ・高潮・高波、海岸侵食外力の増大
- ・水資源の時空間分布特性の変化
- ・河川・海岸環境の変化

○方法別の適応策

- ・施設による適応策
- ・地域、街づくりと一体化した適応策
- ・危機管理対応における適応策
- ・水資源の時空間分布特性に対する適応策
- ・河川・海岸環境変化に対する適応策

○適応策を考える上での留意点

- ・「気候変動への治水対応が追い付かない」という現状を十分認識する必要がある。
- ・復旧・復興対策の充実、地域毎のBCP立案の検討
- ・災害リスク評価法の高度化とそれによる
 - ⇒地域、街づくりを基盤とした適応策
 - ⇒適応策への合意形成
 - ⇒流域の脆弱性を明確にする
 - ⇒予防的観点からの防災免疫力の強化
- ・指数関数としての気候変動だけではなく、その変動幅、ゆらぎを考慮した適応策の必要性
- ・既存ストックの活用：既存施設の長寿命化、機能向上
- ・河川・海岸系としての対応が重要である。
- ・国土構造の再形成、特に農林産業(農林行政)との連携として、水環境保全の適応策を検討すべきである。

○国際社会における適応策

- ・国際河川問題、メガデルタ管理。
- ・途上国の河川・海岸系の総合的水環境管理。特に、森林伐採(不法伐採)による河川環境変化とその対応。
- ・中国の発展過程に伴う周辺国の水環境への影響。

3. 地球環境水理学小委員会2007—2008年の活動

(1) 第20回アゲールシンポジウム

2008年3月に、広島大学において、第20回アゲールシンポジウム「環境シミュレーションと水質分析技術に関する話題提供とディスカッション」を開催した。その内容は以下のようなものである。

講演概要

1) 近未来気候変化予測実験について：木本昌秀(東

京大学気候システム研究センター)

気候変化、地球温暖化の機構を、気象学の基礎知識を織り交ぜて、分かりやすく解説。現在実行中の近未来気候変化予測実験の進捗状況、期待されるアウトプットとその活用面での注意点が的確にまとめて紹介された。

2) 地域環境シミュレーター(国際環境協力への貢献)：山下隆男(広島大学大学院国際協力研究科)

環境アセスメントの高度化としての地域環境シミュレーターの構築(図-1参照)。大気・陸面・海洋結合数値モデルを基盤とする地域環境シミュレーターとその活用方法、今後の展開が紹介された。

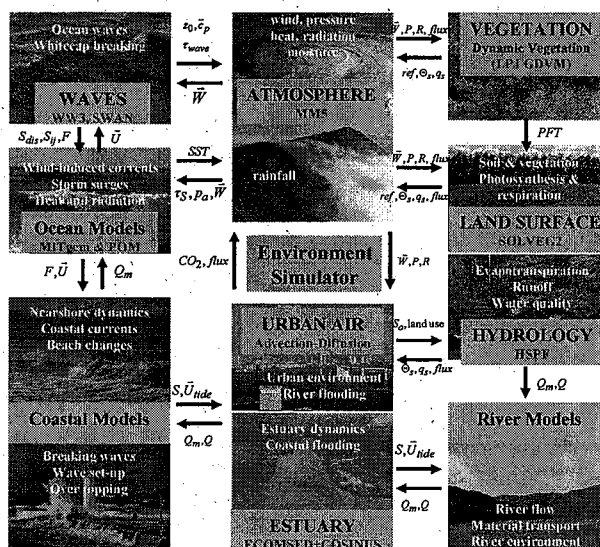


図-1 地域環境シミュレーターの構成

3) イオンクロマトグラフィー水質分析技術：田中一彦(広島大学大学院国際協力研究科)

分析化学から、イオンクロマトグラフィー(産業排水の水質管理を目的に、1975年に米国Dow Chemical社(Dionex社)のSmallらによって発明・考案された水中に含まれるイオン成分の分離計測を目的とした高速液体クロマトグラフィーの一種であり、近年、種々な公定法に採用されている多成分同時計測法)とそれによる水質モニタリング、環境水への応用(酸性雨、河川水、海水等)、環境材料(光触媒)の性能評価への応用が紹介された。

以上の講演に対して、以下のような質問や議論がなされた。

○水環境の適応策において、気候変動予測における不確実性をどのように捉えて対応すべきかについて議論された。

○イオンクロマトグラフィーによる水質解析手法の実用的導入の可能性について質問があった。

○環境シミュレーターの信頼性と今後の活用面での活用について質問があった。

(2) 気候変動における「ゆらぎ」(提案)

アメリカ地球物理学連合のトランザクション, EOS の 2007 年 11 月, 第 44 号 88 巻に Wood & Lean(2007)の寄稿, "Anticipating the Next Decade of Sun-Earth System Variations"があった。これによると, 数十年スパンの地球規模での気候変動のゆらぎは, ほぼ再現できるというものである。すなわち, 太陽放射の全量と, 人為起源である地球温暖化のトレンドと, 十数年に一度程度の間隔で発生している地球上の火山噴火と, 熱帯太平洋の気象データから求めたエルニーニョ南方振動指標 (MEI) との結合で, 地球の平均気温のゆらぎが再現できるのである。もし, このような予測が可能であれば, ゆらぎを不確実性の少ない変動として扱う事ができる。

一方, MEI には面白い変動特性があり, これが台風や発達した温帯低気圧の発生件数と関係がありそうなのである。北太平洋振動 (NAO) は, 北アメリカ大陸およびヨーロッパの気候の明確な変動特性を示すことは良く知られているが, エルニーニョ南方振動が引き起こす亜熱帯高気圧と極低気圧との強弱変化も, 日本海を通過する爆弾低気圧の発生頻度を支配しているように思われる。すなわち, 気候変動のゆらぎの第一要因であるエルニーニョ南方振動特性を知ること, これを考慮した, 台風や爆弾低気圧の発生頻度を予測することができるのではないかと考えている。このような気候変動のゆらぎが数十年のスパンで予測できれば, 台風や温帯低気圧による海岸外力の変動を考慮した海岸保全対策の検討が可能になるのではないかと期待される。

Woods (2007) は, Christy ら (2007) により補正された NOAA の人工衛星に搭載されている MSU (Microwave Sounding Unit) の過去 25 年間の温度データに対して, 下部対流圏における地球の平均気温の変動, すなわち平均気温の「ゆらぎ」が, 以下の 4 つの指標により 80%の精度で説明できることを示した。図-2 にその結果を示す。

- (i) 全太陽光入射の 11 年変動 (TSI データ: NOAA NGDC HP, 図中のデータは 6 ヶ月移動平均値),
- (ii) 地球温暖化の温度上昇の線形トレンド,
- (iii) ENSO による気象変動 (MEI: NOAA ESRL HP),
- (iv) 火山噴火のエアロゾルによる遮蔽効果 (AOD データ: NASA GISS HP)

ただし, Woods らによる解析は Douglass & Clader(2002) の MEI の代わりに SST を用いた重回帰分析による方法に従ったものであり, 図に示す結果はその方法に従い対応する観測データを解析しなおしたものである。MEI には 6 ヶ月の, また火山噴火の遮蔽効果には MEI に対してさらに 3 ヶ月, すなわち 9 ヶ月のタイムラグがある。そのタイムラグを考慮すると, 図-2 に示すように下部対

流圏における平均気温の変動は(i)~(iv)の 4 つの指標により説明できる。この結果は, 気象変動の「ゆらぎ」は, 線形トレンドを除いた全太陽光入射の 11 年変動, ENSO 現象による気象変動および火山噴火による遮蔽効果の 3 つの「ゆらぎ」により, ほぼ説明できることを示唆している。

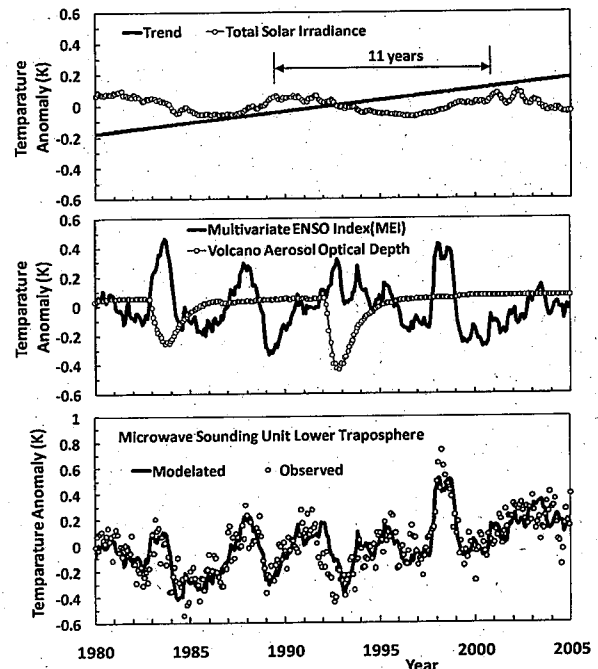


図-2 下部対流圏の平均気温の変動に対する推定値と観測データの比較 (TSI: NOAA NGDC HP, MEI: NOAA ESRL HP, AOD: NASA GISS HP, MSU: NSSTC HP)

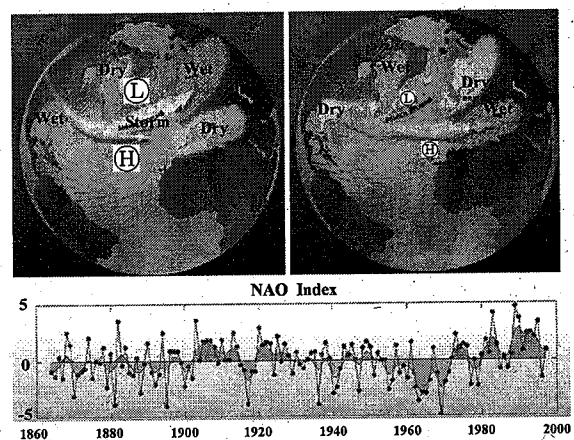


図-3 北大西洋振動の概念図と NAO 指標の変化 (North Atlantic Oscillation (NAO) HP より)

南方振動とともに良く知られているゆらぎに, 北大西洋振動 NAO (North Atlantic Oscillation) がある (図-3)。極低気圧と亜熱帯高気圧の発達度合いによりゲールと呼ばれる温帯低気圧の発達程度と経路が異なる。これにより北海の高潮・高波の発生回数と規模が決まる。

MEI (Multivariate ENSO Index) は、ENSO (El Niño-Southern Oscillation) を表す指標として Wolter ら (1993, 1998) により提唱された指標であり、熱帯太平洋でのエルニーニョ・ラニーニャのようなゆらぎを表わす。さらに、太平洋での 10 年規模でのゆらぎを示す指標として PDO (Pacific Decadal Oscillation Index) があり、前節でも示した様に、これらは地球規模での気候のゆらぎを表わす指標である (NOAA Earth System Research Laboratory)。図-4 に、わが国への台風の上陸数、上陸時最低気圧の上位 14 台風の発生年を■で示す (上図)、その下に Wolter らが 1950~2008 年の 6 成分の観測データに対して主成分分析を行ったときの MEI の経時変化と、さらに太陽黒点数の変動データ、最下図に PDO の 1950 年以降の変動

を示す。MEI の図中の○で囲った数字は、日本海北部を発達しながら移動する温帯低気圧により発生した (顕著な) 寄り廻り波の発生事例で、表-1 に波浪災害等が示されている。なお、MEI は、海面気圧 (SLP)、風速成分、海面水温 (SST)、海面気温 (SAT) および総雲量 (TC) の 6 成分に対して、基準データからの変動値を主成分分析することにより導かれた指標で、正值のときにエルニーニョ現象で、負値であるときにラニーニャ現象であることを表している。PDO 指標は正の時にエルニーニョ (warm phase)、負の時にラニーニャ (cold phase) を示す。

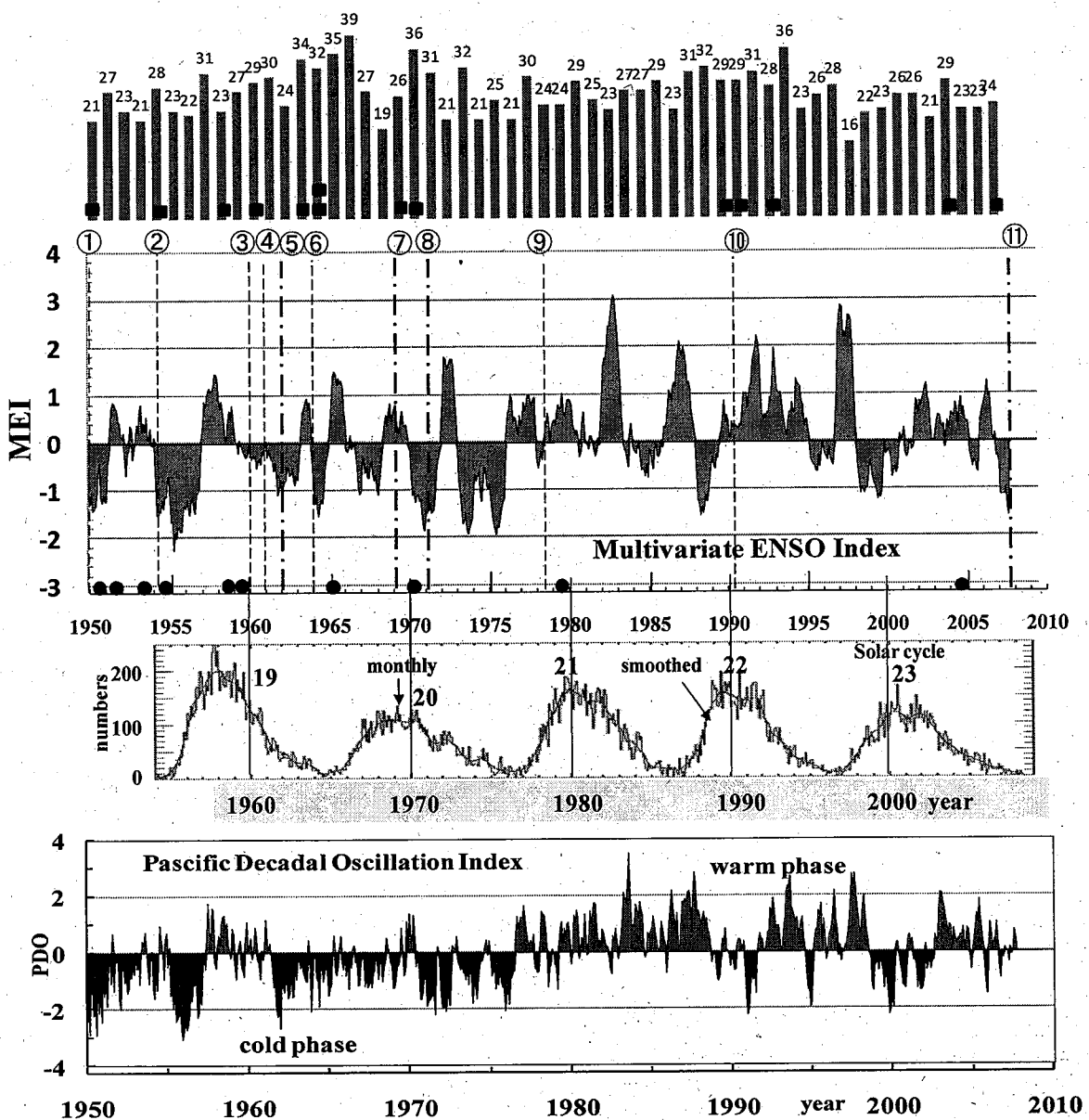


図-4 MEIおよびPDOの経時変化と上陸台風数 (上図)、太陽黒点数の変化

表-1 寄り廻り波災害の発生状況

発生年月日	被災地	被災状況	出典
1926年12月19日			(a)
1927年12月24日			
1929年1月2日			
1935年11月12日			(b)
1949年2月16日			(b)
① 1951年11月27～28日			(a)
② 1955年10月8～9日			
③ 1961年1月26～27日			
④ 1962年1月22～23日			
⑤ 1963年1月7～8日	富山湾沿岸一帯	半壊、浸水	
⑥ 1965年12月13日			(c)
⑦ 1970年2月1～2日	朝日、入善、黒部、滑川	半壊、浸水	
⑧ 1972年12月1～2日	朝日、入善、氷見	全壊	
⑨ 1979年3月31日	滑川		
⑩ 1991年2月16日	滑川	浸水	
⑪ 2008年2月24日	朝日、入善、黒部入善	損壊、浸水	

出典：(a)富山地方気象台昭和38年異常気象報告1号
(b)北出正清：中央気象台海洋報告，2巻4号，1952年
(c)富山県地域防災計画資料

図-4には、●で災害を発生させた顕著台風、枕崎、ジェーン、ルース、13号台風、洞爺丸、狩野川、伊勢湾台風、6523、7010、7919、7920等を示している。この図から明確に言えることは、以下のようである。

- 1) MEIには、2年～5年周期のエルニーニョ・ラニーニャの繰り返し (ENSO) がある。
- 2) 1950～1980年はラニーニャ卓越期、その後はエルニーニョ卓越期である。これはPDOのwarm phaseとcold phaseの振動と一致していることから卓越期があることは明確である。このような長期の振動は、図-3に示した北大西洋の振動指標のNAOにも見られ、NAOが負の時期（温帯低気圧の発達に弱い期間）はラニーニャ卓越期、正の時（ゲールが発達する時期）はエルニーニョ卓越期になっている。
- 3) 図-4のMEI指標の変化の図（縦線）と上陸台風数（■：上位14台風）に示した様に、ラニーニャ卓越期（PDOのcold phase）には、我が国では強い台風や発達した温帯性低気圧による災害（表-1）が多発している。
- 4) 太陽活動が非常に活発であった1958年をピークとするSolar Cycle 19の時期、特にピーク後には、ラニーニャ卓越期と重なって、寄り廻り波による災害、大型台風が頻発していることは注目に値する。
- 5) 大型上陸台風発生期と、顕著な寄り廻り波の発生期（1950～1980年の間）とは一致しており、両者は同一の気候の「ゆらぎ」に支配されているように見える。

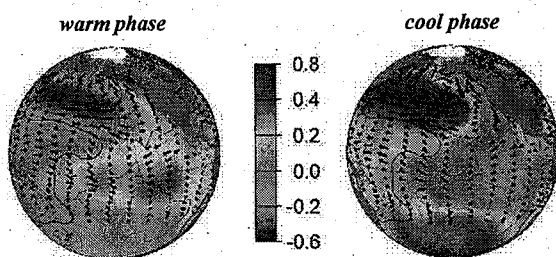


図-5 PDO指標における warm phase と cold phase.

なお、図-5にPDO指標が正の時(warm phase)、負の時(cold phase)の太平洋における水温分布の一例を示す。

以上のことから判断して、もし約30年程度（22年または33年かも知れない？）のエルニーニョ卓越期とラニーニャ卓越期の周期があると仮定すれば、2008年以降の位相は、ラニーニャ卓越期に移行することになり、Solar Cycle 24の太陽活動が活発であれば、台風災害や爆弾低気圧による災害が頻発する可能性がある。特に、太陽活動のGrand cycle 55年周期（Yoshimura, 1979）を考えれば、1958年をピークとするCycle 19から2013年をピークとするCycle 24は要注意であると考えられる。ピークから少しの遅れを持って気候変動が活発になる傾向があることを考慮すれば、2014年以降の数年間は危険な時期と言える。さらに、予想通り、この時期がラニーニャ卓越期となれば、大型台風の北上や爆弾低気圧の頻発に対して十分な警戒が必要であると言える。このような警戒すべき気候の「ゆらぎ」が予想された場合の適用策をどのように立てるべきかについて、検討する必要がある。

(3) 長江・東シナ海系における環境変化（2008年度課題として、現在検討中）

韓国海洋研究院の東シナ海における水質観測によれば、図-6に示すように、2006年度と三峡ダム建設の影響が開始した2007年度とでは、窒素化合物の激減と塩分濃度の上昇、植物プランクトンによる炭素生産量の減少が見られる。三峡ダム建設の影響が懸念されるデータである。

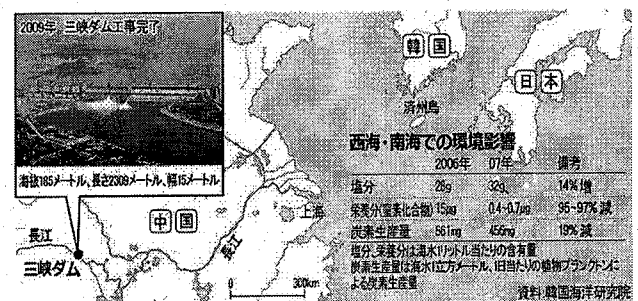


図-6 韓国海洋研究院の東シナ海における水質観測結果

地球環境水理学小委員会の2008年度の活動として、長江・東シナ海系における環境変化に及ぼす三峡ダムからの放流量の影響評価を地域環境シミュレーターを用いて検討している。ここでは、図-7に示すように以下のような計算を行う。

- (1) 気象シミュレーション: メソ気象モデルMM5による降雨再現計算と予測。
- (2) 陸面植生モデル: 陸面モデルSOLVEG2による土地利用変化が気象モデルに及ぼす影響の検討。2007年の土地

利用図はALOSのPALSARデータから解析する。

(3) 水文流出解析: HSPFによる水質及び流出解析。DEMとしてHydroSHEDSを使用する。

(4) 海洋モデル: MITgcm の非静力学モデルによる海水、河川水の拡散シミュレーション。乱流モデルはMellor-Yamada TKMを用いる。

(5) 計算方法:

- ・ダム放水流量 Q_T を仮定する。

- ・長江の河口流量 Q_R を計算する。

- ・海水、河川水の拡散シミュレーションを行う。

- ・海洋の初期値、境界値 (potential temperature, salinity, zonal and meridional velocities) は、再現計算にはJCOPE 1/12 の再解析データ、予測計算には電力中央研究所の気候変動予測解析結果を使用する。

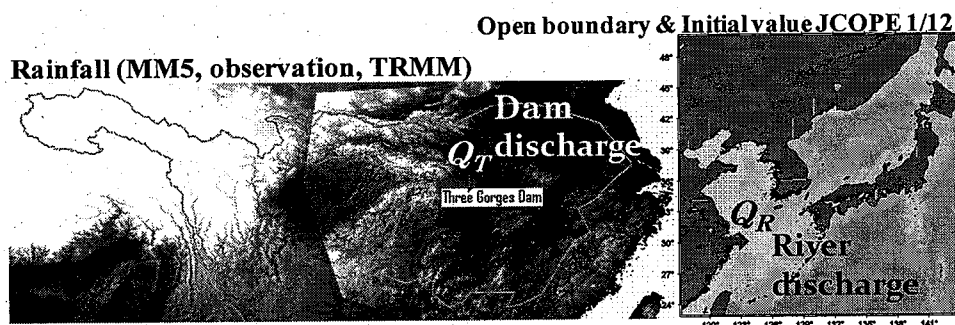


図-7 長江・東シナ海系における三峡ダムによる環境変化のシミュレーションの概要

4. おわりに

地球温暖化問題への水工学委員会の取り組みを総括することが本報告の主要課題であるが、現在は中央大学、山田 正教授を委員長とした土木学会地球温暖化対策特別委員会、適応策小委員会活動が進行中で、水工学委員会、海岸工学委員会、環境工学委員会の3委員会が合同で地球温暖化問題への取り組み、適応策を総括する予定である。ここでは、水工学委員、地球環境水理学小委員会の2007-2008年度の取り組みを中心に活動を紹介した。

なお、2007-2008年度地球環境水理学小委員会の委員構成は以下のようである。

山下隆男 (広島大学大学院国際協力研究科)

村上正吾 (国立環境研究所)

大久保 賢治 (岡山大学大学院工学研究科)

風間 聡 (東北大学大学院工学研究科)

鼎 信次郎 (東京大学生産技術研究所)

仲敷 憲和 (電力中央研究所)

日比野 忠史 (広島大学大学院工学研究科)

作野裕司 (広島大学大学院工学研究科)

金子慎治 (広島大学大学院国際協力研究科)

参考文献

- Christy, J.R., W.B. Norris, R.W. Spencer, and J.J. Hnilo (2007) Tropospheric temperature change since 1979 from tropical radiosonde and satellite measurements, *J. Geophys. Res.* 112, D06102.
- Douglass, D.H. and B.D. Clader (2002) Climate sensitivity of the Earth to solar irradiance, *Geophys. Res. Letters*, Vol.29, No.16, pp.33-1-44-4.
- NASS Goddard Institute for Space Studies (GISS) HP : <http://data.giss.nasa.gov/modelforce/strataer/>
- NOAA Earth System Research Laboratory (ESRL) HP : <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>
- NOAA National Geophysical Data Center (NGDC) HP : <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/getdata.html>
- North Atlantic Oscillation (NAO) HP : <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>
- National Space Science & Technology Center (NSSTC) : <http://vortex.nsstc.uah.edu/>
- Yoshimura, H. (1979) Solar-cycle period-amplitude relation as evidence of hysteresis of the solar-cycle nonlinear magnetic oscillation and the long-term (55 year) cyclic modulation, *Astrophys. J.*, Vol.227, Issue 3, pp.1047-1058.
- Woods, T.N. and J. Lean (2007) Anticipating the Next Decade of Sun-Earth System Variations, *EOS*, Vol.88, No.44.
- Wolter, K. and M.S. Timlin (1993) Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index, In *Proceeding of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, Oklahoma, pp.52-57.
- Wolter, K. and M.S. Timlin (1998) Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/1998 rank?, *Weather*, Vol.53, No.9, pp.315-324.