

国際農林業協力

JAICAF

**Japan Association for
International Collaboration of
Agriculture and Forestry**

特集：異常気象と途上国の農林業

アフリカにおける近年の異常気候イベント

気候変動が農業へ及ぼす影響

異常気象と林業

Vol. 30 (2007)

No. 2

社団法人

国際農林業協力・交流協会

巻頭言

異常気象と途上国の農林業

岩永 勝…………… 1

特集：異常気象と途上国の農林業

アフリカにおける近年の異常気候イベント

門村 浩…………… 2

気候変動が農業へ及ぼす影響

横沢 正幸…………… 10

陶 福祿

飯泉 仁之直

異常気象と林業

鷹尾 元…………… 21

資料紹介

農林水産業における気候変動への適応：見通し、枠組みと優先課題

FAO 日本事務所…………… 31



異常気象と途上国の農林業

国際トウモロコシ・コムギ改良センター (CIMMYT, メキシコ在)

所長 岩 永 勝

今一番ホットな話題は地球温暖化であろう。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第4次報告書によると、温暖化の速度は加速していて、21世紀中の温度上昇は最低でも1.8°C、最高で4°Cに達する。近年の地球の温暖化は、人類の活動が生み出す温室効果ガス (CO₂、CH₄、N₂O) が原因であり、大気中のCO₂濃度の上昇は主に化石燃料の燃焼により、またかなりの部分のCH₄とN₂O濃度の上昇は農業生産活動に起因すると報告されている。そしてこの気温と大気中のCO₂濃度の上昇のみならず、雨量分布や降水パターンの変動も、農林業生産システムに多大な影響を及ぼすのである。

異常気象は地球規模の気候変動の一つの結果として現れるものであろう。異常気象は世界全体に影響を与えているが、とりわけ社会的基盤が弱く、研究・技術開発等による適応力が弱い途上国の農林業が受ける影響は計り知れないものがある。

異常気象が途上国の農林業にどのような影響を既に、あるいは今後与えると想定されるであろうか？ まず生産の不安定化が懸念される。農林業が水、土地、空気等の自然資源を主にした生産活動であるため異常気象に常

に曝されるのは避けられず、降雨量・分布の予測が困難になり、生産が不安定化する。病害虫の発生パターンも変動し、大雨あるいは早ばつ等で壊滅的な被害を受け農地放棄が頻発するのではないだろうか。

これに加えて、政策主導による生産活動の限定も想定される。農林業の活動そのものが地球温暖化へ悪い影響を与えているため、温室ガス削減を強制的な義務として課す国際的取り決めがなされ、森林伐採、農薬利用等が強制的に制限されるだろう。

しかしながら地球規模の気候変動への関心は農林業にとって朗報でもある。世界の流れは物質生産による限りない経済開発よりも、限りある資源、あるいは再生可能な資源を有効に使った持続性志向の「緑の経済」へ移行しようとしている。最近の「バイオエネルギー」への関心・投資はその一例である。緑を扱う活動の主体者である農林業は異常気象の「被害者」としての立場で振舞うのではなく、持続型農林業を提唱し、あるいは「解決案」の提示者として発言・活動していくべきである。異常気象の被害的側面は途上国で強くみられるであろうが、これは対岸の火事ではない。2008年に日本がホスト役を担うG-8サミットで具体的な提案を行っていくべきではないだろうか。



アフリカにおける近年の異常気候イベント

門 村 浩

地球温暖化の進行とともに、アフリカでも異常気候イベント、特に大雨・洪水イベントが多発するようになった。世界の中で、気候変動の影響に最も脆弱とされるアフリカでは、今後、人命と食料安全保障が脅かされる機会が一層増すと危惧される^{1) 2)}。現に2007年7～9月にも、西・中・東部アフリカの広範な地域で未曾有の大雨・洪水災害が続き、約200万人が直接被災し、数百万もの人々が食料不足と水媒介感染症蔓延の脅威に曝された。

刻々と変わる天候、大雨・洪水、干ばつなど極端な気候イベント、それらに伴う災害に関する情報は、インターネット上に公開され、逐次更新される。関連するウェブ情報を整理して、アフリカにおけるごく最近の特徴的イベントを紹介し、対応行動の課題に触れることにしたい。なお、本稿で用いている“今”または“現在”という表現は、“2007年9月下旬現在”のことを指す。

近年の気候イベントの特徴

最近1年9ヵ月の間に、アフリカ全域で起きた主な異常気候イベントの発生域を、特徴的イベントに対するコメントを付して、図1(2006年)と図2(2007年1～9月)に示す。

KADOMURA Hiroshi : Recent Climate Anomalies and Extreme Events in Africa

1. 大雨・洪水

07年はまだ3ヵ月を残しているが、両年とも、規模と発生数には違いがあるものの、大雨・洪水災害がほぼ全域で発生している。中でも、1960年代末以来長期にわたり厳しい干ばつが続いたサヘル・スーダン地域で、大雨・洪水が多発しているのが注目される。サハラとナミブの砂漠、南・北アフリカの冬雨域での記録的豪雨の出現も目を惹く。

大陸東岸域では、太平洋のエルニーニョ南方振動(ENSO)と関連したインド洋西部海域高海面温度を背景に、顕著な大雨・洪水イベントが起きている。ケニアを中心とする東アフリカ乾燥地では、太平洋で弱いエルニーニョが発生した06年10～12月の間、大雨が続いて大小河川が氾濫し、長期間湛水した。このため、1997-98年エルニーニョ年に経験した大雨・洪水イベントの場合³⁾と同じように、被災地ではリフトバレー熱・マラリアなど水媒介感染症が蔓延した。

東アフリカの大雨が終った頃始まった06-07年南インド洋熱帯サイクロン・シーズンには、平年より1～2℃高い海面温度を背景に、強力なサイクロンが多数発生し、そのうち6個がマダガスカルを直撃した(図3, 表1)。暴風と大雨・洪水が45万もの人々に被害を与え、基幹作物のイネ・バナナ栽培に壊滅的な打撃を与えた点で異例であった。

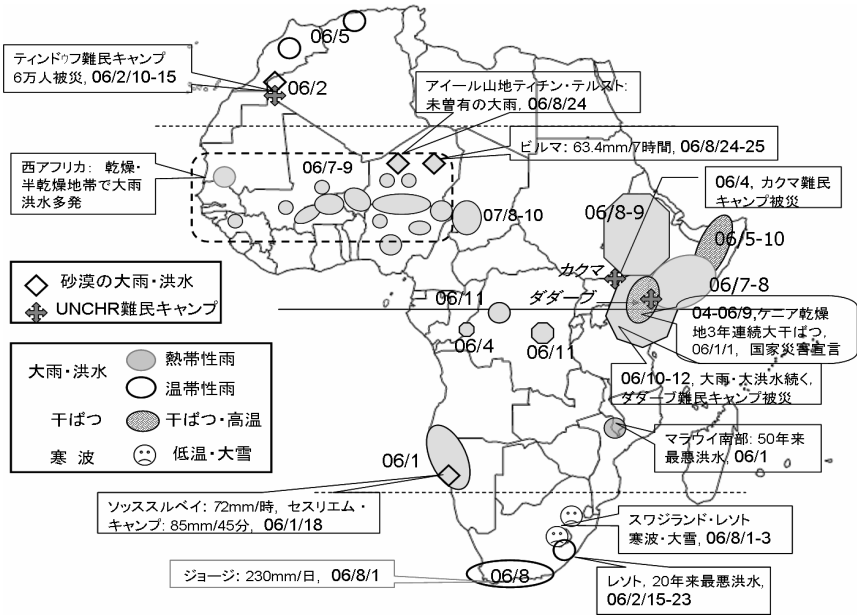


図1 アフリカにおける2006年異常気候イベント

出典: Dartmouth Flood Observatory, FEWS NET, IRIN, IFRC, ReliefWeb などの web pages 情報より編集

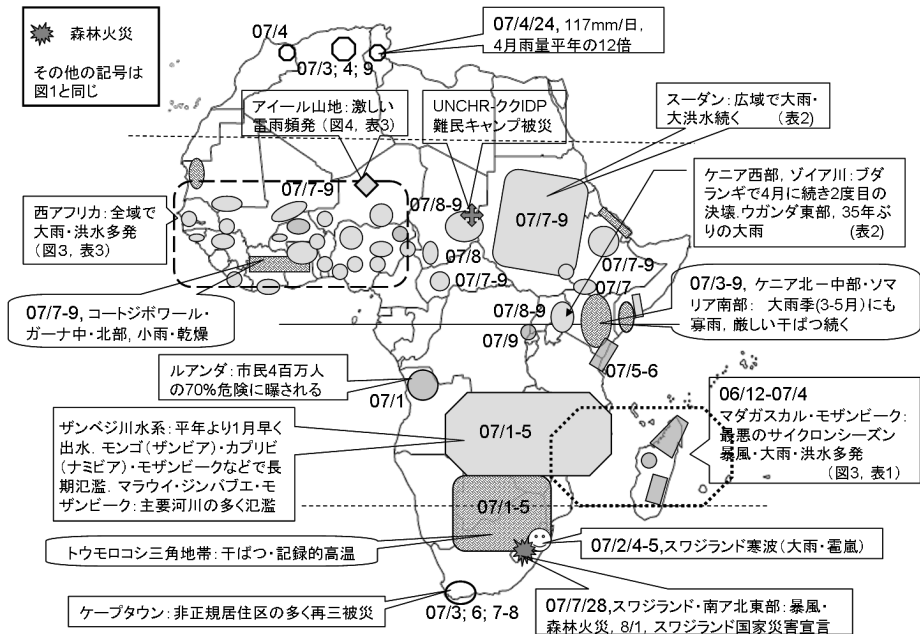


図2 アフリカにおける2007年1~9月異常気候イベント

出典: Dartmouth Flood Observatory, FEWS NET, IFRC, IRIN, ReliefWeb などの web pages 情報より編集

近年の大雨・洪水の発現パターンには、次のような特異性が認められる。

- (1) 夏の雨季が平年より早く始まり、遅くまで続く。また、河川の氾濫も早くから始まり、しかも高い水位で長期間冠水する。07年のザンベジ川水系洪水は、こうした典型例である(図2)。この水系では、03年などにも同じような現象がみられた²³⁾。今も広域で氾濫が続いているスーダンもこの例である(図2、表2)。
- (2) 雨季入りは遅れたが、その後大雨がよく降り、しかも遅くまで続く。07年夏のサヘル・スーダン地域中・西部がこの例である(表3、図4)。
- (3) 通常は小雨ないし乾季の時期に、大雨または長雨があり、初めて経験する大洪水が発生する。07年のウガンダ中・東部の洪水がこの典型例である(表2)。砂漠とその周辺の乾燥地でも、時節はずれの大洪水が希に起きる。06年2月にサハラ北西部のTindouf(ティンドゥフ) UNCHR 難民キャンプに大被害を与えたイベントが代表例である(図1)。

2. 干ばつ

対象期間に厳しい干ばつが出現した地域は、ケニア北・中部とソマリアの乾燥地、南部アフリカのトウモロコシ三角地帯に限られる。いずれも干ばつ常習域である。特に前者では、04~06年3年連続の顕著な干ばつ後に前述の大雨・洪水を経験したが、その後再び現在に至るまで厳しい干ばつが続いている点で特異である。後者は、数年来の干ばつ常習域であり、1000万を超える人々が食料危機に直面した年もあった。

西アフリカのサヘルでは、小干ばつ域が大

雨域の狭間にスポット状に点在するに過ぎない。西アフリカで注目すべきは、サヘルの雨季最盛期はギニア湾岸域のミニ乾季であり、年により顕著な干ばつが出現する傾向のあることである。07年にもその片鱗がみられたが、03年にはもっと広域で厳しい干ばつが現れている²³⁾。

3. 特記すべきその他のイベント

- (1) 南部アフリカでは、両年とも、ケープタウン付近、レソト・スワジランドとそれらの周辺域で、寒冷前線を伴う発達した低気圧の襲来により、異常低温と激しい暴風、大雪または降雪による災害が何回か起きている。07年冬には、スワジランドを中心に広範な森林火災が発生した。
- (2) サハラとその周辺の乾燥地には、今なお、いくつかの紛争地帯がある。難を逃れてきた人々(越境・国内両難民)を收容する UNHCR の大規模キャンプは、国境に近い辺境の低平地に設けられている場合が多い。こうしたキャンプのうち、前述のティンドゥフ(アルジェリア北西部)の他、Kakuma(カクマ; ケニア北西部)、Dadaab(ダダブ; ケニア北東部)、Koukou(クク; チャド南東部)の三つが大雨・洪水で被災し(図1、2)、壊滅的被害を蒙ったり、高所への緊急避難や移転を余儀なくされたりしている。辺境にある上、洪水で道路が寸断されるため、緊急支援活動もままならないのが常である。

ニジェールのアイール山地は、07年2月以来、鉍産資源(特にウラン鉍)収入の正当な分配などを要求して、政府と対立するトゥアレグ武装勢力(MNJ)が支配する紛争地帯である。ここでは、07年の雨季に激し

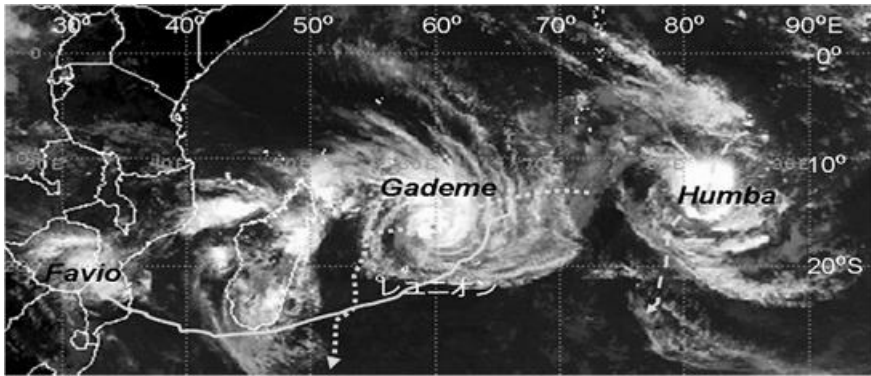


図3 2007年2月 南インド洋に発生した三つの熱帯サイクロンと大雨域の分布
 07/2/23 09:45 世界標準時 Meteosat-7 IR 画像 (Météo-France/La Reunion)
 Favio, モザンビーク南部に上陸(表1 参照)

表1 2006-07年南インド洋熱帯サイクロンによる災害

名称 ¹⁾	期間 ¹⁾ (発生-消滅)	カテゴリー ¹⁾	最大風速 ^{1)*} (ノット)	経路と主な被害状況 ²⁾
Anita	06/11/30-12/1	TS*	45	モザンビーク海峡北部で発生し南下 (影響小)
Bondo	12/18-12/26	Cat 4	120	12/25, マダガスカル北西岸上陸 (最大風速 115 km/h)・南進 死者1, 被災者304
Clovis	07/1/1-1/4	Cat 1	65	1/3, マダガスカル東中部上陸(最大風速 120 km/h) 家屋等倒壊, 電力・電話施設被害, 水田冠水, 避難者約1500.
Dora	1/28-2/8	Cat 4	115	(東方海上, 影響なし)
Enok	2/9-2/11	TS*	85	(東方海上, 影響なし)
Favio	2/14-2/23	Cat 4	125	大雨域を伴ってマダガスカル南端をかすめ, 2/22, モザンビーク南部上陸 (最大風速 205 km/h) マダガスカルで避難者2万5000 モザンビーク中・南部, ジンバブエ東部で大雨, ザンベジ川一層の増水, モザンビークで死者4, 傷者70, 避難者1万3367
Gademe	2/21-3/2	Cat 3	100	マダガスカル-レユニオン間を南進 レユニオン西～南部高地で4日間最大4869mmの世界記録を更新する大雨(2/21～28 総雨量5400mm), 家屋・道路等インフラ・農耕地などに大被害 マダガスカル北東部に100～200mmの雨
Humba	2/21-2/27	Cat 1	70	(遙か東方海上, 影響なし)
Indlala	3/12-16	Cat 4	115	3/15, マダガスカル北東部上陸(最大風速195km/h), 暴風と大雨・洪水のため北部4州で死者80, 被災者39万3000 水田等農地9万ha被災, 特産のパニラ, 栽培中心地 Antalahaで90%損失 インフラ・家屋等建物被害甚大
Jaya	3/30-4/3	Cat 3	110	4/3, マダガスカル北東部上陸 (最大風速148.3km/h), 横断してモザンビーク海峡に入る. マダガスカル北部, モザンビーク中～南部・ジンバブエに大雨 死者3

出典: 1) NOAA/NCDC: South Indian Ocean 2006-2007 Tropical Cyclones

2) CycloneExtrême, Dartmouth Flood Observatory, IFRC, IRIN, ReliefWeb, などの web pages

* 熱帯ストーム, #6時間持続最大風速

い雷雨が頻発し（図4、表3）、ワジ沿いの農園などが壊滅的な被害を受けてきた（表3）。交通路の寸断に加え、埋設された地雷による極端な状況悪化のため、支援活動が阻害され孤立状態にある。

2007年北半球夏の雨季のイベント

北半球アフリカの7～9月は、サハラ南部までの地域が広く雨季になる時期である。雨域は、熱帯内収束帯⁽¹⁾の北上を追って北に移動し、8月中旬頃に最北位置に達した後、南に退く。雨は、活発な積雲対流がもたらす短時間の局地的雷雨、スコールの形で降るものが主体をなす（図4）。

雷雨の出現は、時間・空間的に気まぐれであるが、ひとたび降れば小ワジで急な出水が起り、雷雨の日が続けば中小河川の氾濫が始まる。大河川に集まった洪水流は、沿岸の低地に溢れ、季節的氾濫原を毎年のように水浸しにしている。サハラ南縁地帯の洪水は、珍しい現象ではない。

しかし、今年の雨季の様相は、先にも指摘したが、いつもとは大いに異なっている。モーリタニア／セネガルからスーダン／エチオピアに至るサヘル・スーダン地帯の全域に、ケニア西部、ウガンダ中・東部の半湿潤地帯を含めた、広大な地域で大雨・洪水による顕著な災害が続いている点で、きわめて異例である。

1. スーダン

07年のスーダンでは、通常よりも1ヵ月早い7月初旬から大雨の日が続いて洪水が始まった。スーダン平原部で大規模な氾濫が始ま

ったのは、平原部への雨に加え、エチオピア・エリトリア高地に降った雨を集めて流下するGash（ガシュ）とブルー・ナイル、Atbara（アトバラ）、Sobat（ソバット）などナイル川の支流群が氾濫水位に達した7月中旬である。9月末までの間、総雨量は多くて平年の2倍程度であったが、上流山地と平原部ではほぼ間断なく雨が降り続いた。ナイル川水系本・支川の溢流氾濫は、下流部へと移行しながら、今も続いている。

スーダンは、07年雨季大雨・洪水の最悪の被災国であり、9月末現在、被災者62万5000、家屋全半壊9万以上、死者150を数えるという未曾有の大被害を被っている（表2）。

2. 西・中部アフリカ

西アフリカ諸国にカメルーンとチャドを加えたサハラ南縁地帯では、6月には西部に雨季入りの遅れた地域があったが、7月以降、雨域は東西に連なるとともに順調に北上していった。広い範囲で雷雨が多発する日が増えたからである。ITCZの平均位置は、7月下旬～9月上旬の間、平年よりも0.5°～2°北に偏していた。また、平年より1旬遅い8月下旬に最北位置に達した。このため、サヘル北部～サハラ南部の地域では、通常より遅い時期まで大雨が頻発した。

しかし、一般的にみると、ITCZが南下に転じた8月下旬以降になると、雨域の中心は南に移り、ブルキナファソ・ガーナ・トーゴ国境付近などに大雨域が現れるようになった。

こうして、8月下旬以降、三国境地帯以南のボルタ川水系本・支流の沿岸低地では、上流から到達した洪水波の氾濫も加わり、深刻な洪水災害を経験することになった（表3）。

⁽¹⁾ ITCZ と略称。日射で生じる低圧部。北からの乾いた風と南からの湿った風が収束する場で、季節的に南北に振動する

表2 2007年7~9月中部・東部アフリカの大雨・洪水災害のあらまし(07/9/25現在)

国	被災地域 / 州	被災者	避難者	死者	摘要
カメルーン	北部 Mokolo	1,440	1,220	6	8/2~17 大雨続く 家屋・倉庫倒壊 300
チャド	各地, 特に南西部, 東部	4,656	2,320 67 h (E)	6	8月初旬より広域で被害 東部で UNCHR-Koukou 難民 キャンプなど被災
中央アフリカ	Bangui, Bosangoa	25,145	3,753		7月より大雨, 首都被災
ルワンダ	東部 Rubrau, Nyabihu	2,369	7,000	17	家屋流失 500, 農地被災 1896ha
ウガンダ	中・東部	300,000	55,000	21	7月より乾季の時節に 35年来の大雨, 農作物壊滅
ケニア	西部 Budalangi (Busia)	20,000	832 h		Nzoia 川, 4月に続き Budalangi で再度決壊・氾濫
ソマリア	南東部				Shabelle 川, 中流部で決壊, 農地 1300ha 被災
エチオピア	Afar, Amhara, Tigrey, CNNPR, Gambella	226,000	70,860	17	Awash 川ダム決壊・氾濫, Tana 湖水位上昇中
エリトリア	Gash Barka, Tesseney	>35,000	130 h		(海岸地帯干ばつ続く)
スーダン	Khartoum, N. Kordofan, Kassala, White Nile, Blue Nile, Senner, Red Sea, River Nile, Al Gezira, S. Darfur, Northern, Al Gedalef, Unity, Upper Nile, S. Kordofan, W. Darfur, N, Darfur, Jonglei	625,000	200,000	150	平年より1ヵ月早い7月初旬より広域で大雨・洪水 道路と不適切な排水路建設が洪水被害を増長 26州のうち21州が被災 被災世帯10万以上, ホームレス20万以上, 農地被災4万2000ha以上 水媒介感染症危険曝露350万 9月下旬, 下流へと移行しながら ナイル川水系氾濫水位続く

出典: Dartmouth Flood Observatory, IFRC, IRIN, ReliefWeb などの web pages
 避難者欄-h: 世帯, (E): 東部



図4 西-中部アフリカ 2007年雨季の活発な対流活動による大雨域分布の一例
 07/9/7 18:00 世界標準時 Meteosat-9 IR 画像(ACMAD: AMMA Weather Bulletin, 8 SEPT 2007)
 ITCZ: 熱帯内収束帯, AEJ: アフリカ東風ジェット, HL: 熱低気圧 (1005hPa)

西・中部アフリカ地域でも、スーダンの場合と同じように、雨季の総雨量は大洪水が多発した割には多くはない。限られた観測データからみる限り、多いところでも平年比1.5～2倍程度である。平年と異なるのは、降水日数が多く（8月に南部で15～20日、北部で10～15日）、しかもかなり万遍なく降ったことであろう。

3. 異常降雨の背景

今回の異常降雨の背景には、太平洋におけるラニーニャ現象（低温イベント）の発現がある。より直接的には、ラニーニャ現象の成長と連関し、インド洋西部海域と熱帯大西洋ギニア湾で、5～9月の間、海水面温度が平年より高めに経過したという観測事実がある。

近い過去に経験した、こうした ENSO 連関海水面温度分布異常とサヘル～東部アフリカ地域および南部アフリカにおける降水パターンの相関性は、これらの地域における降雨長期予報の拠り所をなしている。実は、アフリカの国際気象機関 ACMAD⁽²⁾は、こうした経験を踏まえ、5月末に、7～9月のサヘルでは全域でほぼ平年並かそれ以上、特にその東部（チャド・スーダン）で平年以上の雨が降る可能性を予測している⁽⁴⁾。また、IGAD⁽³⁾の気

象機関 ICPAC⁽⁴⁾は、6～8月の東部アフリカのエチオピアから中・南部スーダン、ウガンダ・ケニア西部に至る地域で、平年以上の雨が期待できると予測している⁽⁵⁾。

したがって、今回の大雨は、広域の空間スケールと季節レベルの時間スケールでみる限り、想定内の出来事であった。しかし、今回の大雨の時・空間パターンの出現を子細に説明するためには、東・西両アフリカ・モンスーンや ITCZ とアフリカ東風ジェットの振る舞いなど、降雨システムに直接関わるダイナミックな要因に関する解析に基づく考察を必要とする。残された重要課題である。

おわりに

広範な地域にわたって出現した近年の異常気象イベントの様相は、地球規模気候変動と連動して、アフリカの気候システムが急速に変わりつつあることを実感させた。また、干ばつ対策をゆるがせにすることなく、大雨・洪水に対する一連の対応行動（観測、早期警戒、情報伝達、災害時の緊急対策、災害後の長期避難者対策・水媒介感染症防止対策など）を格段に強化することが火急であることを教えてくれた。降雨予測については、上述した

⁽²⁾ African Centre of Meteorological Applications for Development（アフリカ開発気象利用センター）：ニアメイ（ニジェール）に設置されたアフリカ全域を対象とする気象研究機関で、アフリカの53ヵ国が加盟し、WMO・UNDP・UNEP・FAOなど国連機関が支援。早期警戒、長期予報、気候変動モニタリングなどの情報を提供。

⁽³⁾ Intergovernmental Authority on Development（政府間開発機構）：ジブチに本部を置く東アフリカ7ヵ国（ジブチ、エチオピア、ケニア、ソマリア、スーダン、ウガンダ、エリトリア）の地域開発組織

⁽⁴⁾ IGAD Climate Prediction and Applications Centre（IGAD 気候予測利用センター）：ナイロビ（ケニア）に設置された IGAD 地域を対象とする気象研究機関。早期警戒、長期予報などの情報を提供。なお、南部アフリカの SADC（Southern African Development Community 南部アフリカ開発共同体）には、ハボローネ（ボツワナ）に設置された同様の機関 SADC Drought Monitoring Centre（干ばつモニタリングセンター）がある

表3 2007年6~9月西部アフリカの大雨・洪水災害のあらまし(07/9/27現在)

国	被災地域 / 州	被災者	避難者	死者	摘要
モーリタニア	Tintane, Assaba, Gorgol	30,000			8/7, Titane で81.5mm/日の大雨 8月末再び大雨
セネガル	Thiès, St-Louis, Diourbel	3,100			8/13夜, Thiès で127mmの大雨
ガンビア	Sinchu Bala	300			7/18, 127mmの大雨
ギニア	Mamou, Dinguiraye, Dobola など	20,685			9月 45~50年来の大雨
マリ	Mopti, Segou, Kayes	42,660	4,575	9	7月初旬以来大雨
ブルキナファソ	Yatenga, Loroum, Bam, Goucy, Ouagadougou, Bama, Zoundwogo など	43,500	28,000	33	7/29~30, Bama で165mm/24時 間の大雨 11州で洪水災害 Ouagadougou, 54年来最悪の洪水
シエラレオネ	Freetown	4,500			
リベリア	Monrovia, Montserrado	17,000			海岸, 高波災害も
コートジボワール	Agboville	2,000			海岸, 高波災害も
ガーナ	Upper East, Upper West, Northern	260,000		32	8/24~29, 大雨, Sandema で112mm. (8/24~25) Volta 川と支流 Oti 川 氾濫。上流ブルキナファソ内ダム 放流影響
トーゴ	Savane	120,000	11,490	23	9月初旬, 北部で大雨・洪水
ベナン	Couff	2,000		3	9月中旬, 南部で大雨・洪水
ニジェール	Arlit, Agadez, Ouallan, Filingue, Tahoua, Madaoua, Zinder, Magaria, Goure など	57,270	37,720	7	7月中旬より各地で大雨・洪水 紛争地帯 Air 山地中の被災地, 道 路寸断と埋設地雷の危険のため孤 立
ナイジェリア	Ogun, Lagos, Sokoto, Plateau, Nassarawa, Borno など	50,000		68	7月末より各地で大雨・洪水 Plateau 最悪の被害州 9月下旬, ニジェール川増水続く

出典: Dartmouth Flood Observatory, IFRC, IRIN, ReliefWeb などの web pages

広域レベル長期予報に加えて、農村コミュニ
ティ・レベルでも直接役立つ、旬日ないし週
レベルのきめ細かな予測システムの開発・運
用を急ぐ必要がある。新たな発想で取り組む
べき課題が山積みしている。

参考文献

- 1) Boko, M.I. et al. 2007, Africa. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry et al., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 433-467.
- 2) 門村 浩 2005a, アフリカにおける 2003 年の大雨・洪水災害, 地球環境, 10(1): 29-40.
- 3) 門村 浩 2005b, 環境変動からみたアフリカ, 水野一晴(編), アフリカ自然学, 古今書院, 45-65.
- 4) ACMAD 2007, Seasonal Rainfall Forecast for the period July-August-September 2007 in West Africa, in Chad

and Cameroon. PRESAO-10, Version of May 30, 2007. http://www.acmad.ne/en/climat/PRESAO10-may07_en.pdf

- 5) ICPAC/IGAD 2007, Consensus climate outlook for the Greater Horn of Africa (GHA): June to August 2007 rainfall season.

http://www.icpac.net/Forecasts/jja07_statement.html

主な参照 Web pages

ACMAD, AGRHYMET, AMMA, CyclonExtrême, Dartmouth Flood Observatory, DMCH/SADC, Earth Observatory/Natural Hazards/NASA, EUMETSAT, FEWS NET/USAID, GIEWS/FAO, ICPAC/IGAD, IFREC, IRIN, Météo-France/La Reunion, NOAA/CPC, NOAA/NCDC, OCHA, ReliefWeb, South African Weather Service, Sudan Early Warning and Emergency Information Center.

(東京都立大学名誉教授)



気候変動が農業へ及ぼす影響

－ 日本と中国への影響を中心として －

横 沢 正 幸
陶 福 禄
飯 泉 仁之直

はじめに

2007年4月に発表された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次評価報告書は、地球温暖化は確実に進行しており、その原因は人為起源の温室効果ガスの大気濃度上昇によるものであるとほぼ断定した⁵⁾。そして、このような地球規模の環境変化に対する作物の応答は、特定の地域だけではなく世界の農業生産を変化させると懸念されている。

世界の穀物生産量は、品種改良、栽培技術などの進歩により過去においては人口の伸びよりも大きい増加率を示してきた。しかし、1980年代から生産量の伸びが鈍る傾向が見え始め、また、生産量のゆらぎ(生産量の変動のふれ)が増大する傾向も現れてきた。1993年には、日本がコメの大凶作のために250万t規模(世界貿易量の約2割)の緊急大量輸入を行い、世界のコメ市場を大きく混乱させた。韓国は1980年代初頭に200万t規模の緊急輸入を行った。また、1988年まで約100万tも輸出した中国が、1989年に

は不作と需要拡大で逆に120万tも輸入、その後1993年の日本の不作時に100万tをわが国に供給したのが、1995年には一転して200万t近くを輸入するなど、アジア地域においてもきわめて不安定な状態が出現している。このような状況で将来、食料供給をさらに不安定化させる要因が三つあると考えられる。第一に温暖化に伴う栽培適地の移動、あるいは干ばつ、大雨、高温といった異常気象の頻発が予測されていること、第二にアジア諸国の経済発展、人口増加による食料要求量の増大と自給率の低下が懸念されること、第三には貿易依存、国際分業化によって、世界の穀物の主要輸出国が北米ならびにオーストラリア大陸に極端に偏在化しつつあることである。グローバルな食料安全保障の観点に立つならば、このような生産システムに不安定化を引き起こす気候変動の程度とその危険性を地域、要因ごとに解析し、かつそれらを総合化して評価する必要がある。

気候変動が農業へ及ぼす影響を予測し、対策を立てるためには、次のような基本的な問いに答えることから始める必要がある。すなわち、作物は現在の環境にどのように適応しているのか? 大気CO₂濃度および気温の上昇は作物の生長にどのような効果を及ぼすの

YOKOZAWA Masayuki, TAO Fulu and IIZUMI Toshichika : Climate Change Impacts on Agriculture in Japan and China.

か？作物の栽培にとって最適な環境条件は何か？環境変動は作物の生育・生長にどのような影響を与えるのか？このような作物の環境応答に関する基礎的な知見を踏まえて、気候変化が農業生産に及ぼす影響とその対応策の評価を総合的に行うことができる。

現在、世界各地の、様々な実験、観察によって、大気CO₂濃度、気温および水分環境の変化に対する作物の生理生態的機能の応答が調べられている¹⁵⁾。それらの知見やデータを用いて、作物の環境応答に関するモデルを作成することが可能となる。その正しいモデルを用いて、環境条件と作物の生長過程および最終収量との関係を時間的、空間的に拡張することが可能となる。一般に、モデルには統計的モデルと機構的モデルの2種類があり、国や県などの広域スケールの評価には統計的モデル、圃場単位などの小スケールの評価では機構的モデルが比較的好く用いられる。しかし、影響に対する対応策の効果を調べるには機構的モデルが優れているといえる。

本稿では、気候変動が東アジア、特に日本および中国における農業生産へ及ぼす影響に関して、環境条件に対する作物の応答モデルを利用して評価、解析を行った研究を紹介する。

日本への影響

日本では、とりわけイネに関する実験とそれに基づくモデルの研究が多い。実際のイネの生育状況や収量の年次変動、地域間の差などが、環境条件の違いを反映させたモデルでよく記述されている。最近、われわれの研究グループは、日本のコメ収量を広域で評価し、かつ機構的なモデル（広域水稲収量予測モデル）を利用した気候変化の影響評価に関する研究を行った。このモ

デルは日本の代表的な水稲生育・収量予測モデルであるSIMRIW⁴⁾と同様の構造を持つが、パラメータの決定を広域（県単位）で行うところに特徴がある。

モデルの作成手順は、以下の通りである。

- 1) 国土数値情報（1km×1kmグリッド）を用いて対象県における水田分布を抽出する。
- 2) 気象メッシュデータ⁸⁾を利用して、1)で抽出した水田グリッドにおける平均の気象要素（日別の最高・最低気温および日射量）を計算する。
- 3) 対象期間を1979～2003年の25年間とし、2)で作成した県平均気象要素を入力として、全国の県別農林統計による平均の移植日、出穂日、収穫日および収量のデータと比較しながら非線形最適化法を利用してモデルパラメータのチューニングを行った。ただし、チューニングは対象期間内の奇数年について行い、偶数年も含めてモデルの検証を行った。

図1は、以上の手順で作成した広域水稲収量予測モデルの県別出穂日分布の推定値と統計値との比較結果である。出穂日の予測は水稲の高温や低温に対する感受性、ひいては最終収量を推定する上で重要な指標である。1979～2003年の25年間について、ここで作成した広域水稲収量予測モデルによる推定結果より、全国平均ではおおむね5日以下の誤差で推定できることが分かった。とりわけ、西日本、北陸、東海では良い精度で県平均出穂日を推定することができた。しかし、東北の日本海側や北海道では、5日以上の推定誤差が生じた。

図2は収量分布の比較結果を表している。出穂日の推定過程に合わせて、イネの子実であるコメの形成過程を取り込んだ生長サブモ

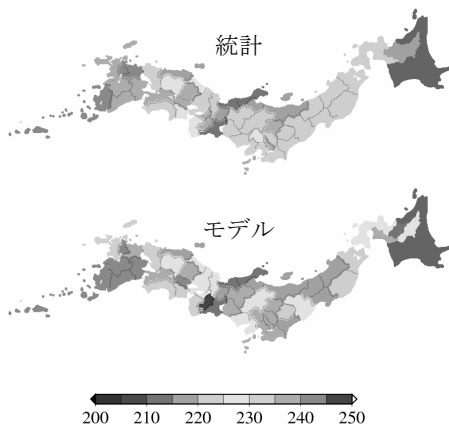


図1 平均出穂日の推定 (DOY)

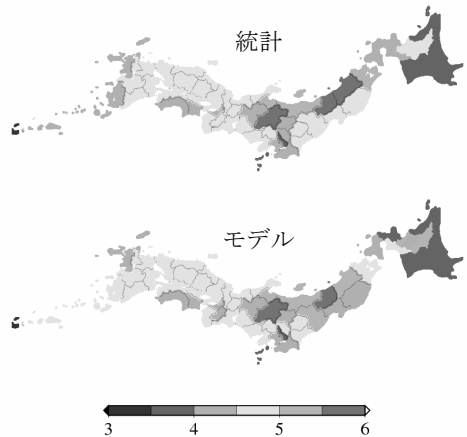


図2 平均収量の推定 (t/ha)

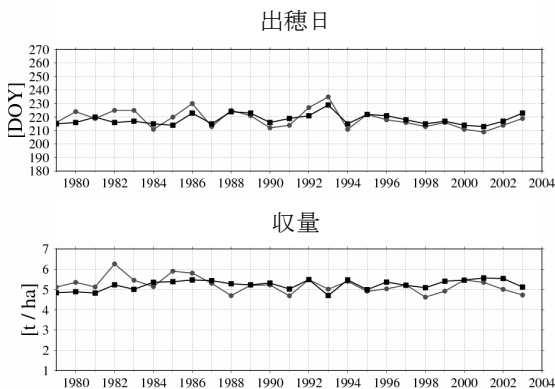


図3 出穂日・収量時系列の比較 (新潟)

■ : 統計、 ● : モデル

デルの出力である。ここでは、モデルのパラメータは出穂以降の低温と高温に対する感受性に関するチューニングのみを行っている。その結果、全国平均では 0.5t/ha 以下の誤差で推定できることが分かる。ただし、収量も出穂日と同様、年変動については、西日本ではおおむね再現できるが、特に東北の太平洋側および北海道では推定誤差が大きくなる傾向がある。

図3および図4は、それぞれ新潟県と宮城県における出穂日、収量の年次変化の比較結果を示している。本推定の基礎としたモデルは元来圃場スケールで使用されているもので

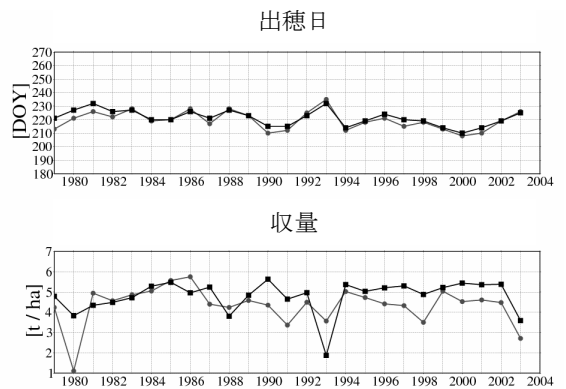


図4 : 出穂日・収量時系列の比較 (宮城)

■ : 統計、 ● : モデル

あり、品種ごとに適切なパラメータを決定すれば、そのスケールではおおむね3～4日程度の誤差で出穂日が推定されている⁴⁾。したがって、ここでの県平均の出穂日推定誤差(5日程度)は許容範囲であると考えられる。地域的に見ると、一般に西日本では出穂日の年次変動は小さくほぼ一定であるのに対して、東北・北日本は年次変動が大きい特徴がある。この地域の時間変動性はおもに気象環境に起因するものであり、領域平均(県ごとに水田分布で重み付け平均したデータ)の入力を用いる広域スケールモデルでは、時間変動特性がならされてしまう傾向がある。また、東北、

北海道は水田が県内に広く分布し、地域の気象環境の不均一性が大きい。今後は、それらの特徴を取り込むために、県別に水田分布と気象環境の不均一性を考慮した、環境要因の領域平均の取り方について改良を行う必要がある。

気象条件と収量との関係にある程度記述できたので、次に、気候変化シナリオを利用して気候変動による影響評価を行う。ここでは、広域水稲収量予測モデルに、気象庁気象研究所の領域気候モデル (RCM20 ver.2) に基づく気候変化シナリオデータを入力して、その応答を解析する。ただし、入力に使用した気候変化シナリオデータは日本付近で緯度・経度およそ 20km の空間解像度であったものを、線形内挿によって空間解像度を 10km とした¹⁴⁾。対象期間は、2031 年から 2050 年および 2081 年から 2100 年の 2 期間について毎年の収量を算出し、それぞれの平均を示した (図 5)。ただし、今回用いた気候変化シナリオの元データには日射量データが含まれていなかったため、日射量は雲量から推定した。

図 5 より、2031~2050 年の間では、現在のまま適応策を何もとらない場合には、全県で現在より 0.5~1.5t/ha 程度減収になることが推定された。2081~2100 年では、北海道、青森などでは増収になるが、その他の県ではやや減収 (<1t/ha) になることが示された。全

国的にまとめると、気候変化後も収量はほぼ横ばいであることを示している。これまでの予測では、温暖化によって東北、北海道では増収、南西日本では減収する予測が多いが、このシナリオではそのようなコントラストは現れていない。

この理由は、ここで使用した気候シナリオ (RCM20) では、夏期の昇温が小さく、特に 2031 年~2050 年では、8 月の気温が 1981 年~2000 年と同程度もしくはやや低いこと、8 月の日射量も 1981 年~2000 年に比べて減少することによる。すなわち、春季の気温の上昇に伴って生育速度が速まり生育期間は縮小するが、日射量の不足でバイオマスひいては収量がさほど伸びない結果となった。また、西日本でも熊本以外では高温障害は発生していない。

言うまでもなく将来の予測結果には、モデルの仮定だけでなく、環境変化の設定などに多くの不確実性が含まれている。したがって、単一の気候シナリオの結果だけでなく、できるだけ多くのシナリオに基づく予測結果を総合して解析ならびに評価を行う必要がある。

環境に対する作物の応答を記述する機構的モデルは、気候変動が及ぼす影響評価だけでなく、その緩和策、適応策の効果についても解析することができる。一般に、気候変化影



図 5 気候変化シナリオ(RCM20 ver.2. SRES-A2)に基づくコメ収量の変化(適応策なしの場合) :各期間平均収量と現在の平均収量(1981~2000 年)との差

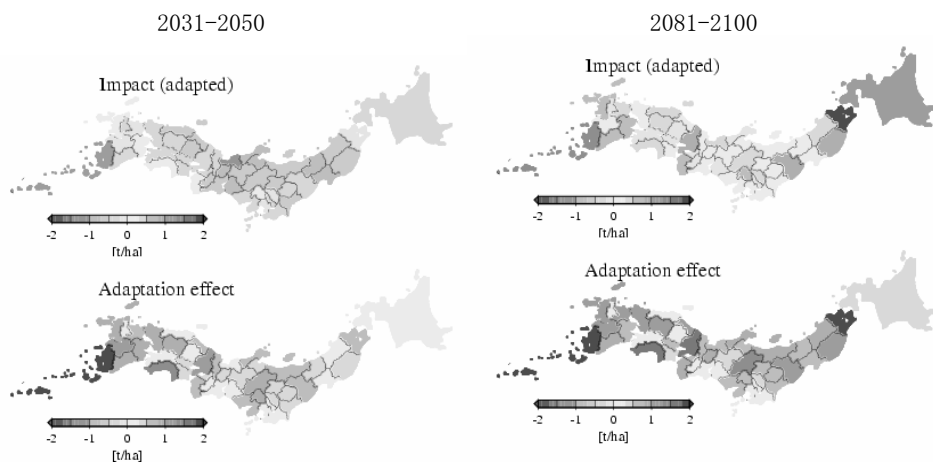


図6 気候変化シナリオ(RCM20 ver2. SRES-A2)に基づくコメ収量の気候変化影響に対する適応策の効果(移植日を最適に移動した場合)

響に対して、適応策として考えられる主要な方策は以下の三つと考えられる。

- 1) 移植日の移動
- 2) 品種改良
- 3) 肥培管理

ここでは、移植日の移動（田植えの時期をずらしてイネの生育、生長にとって重要な時期の高温などの影響を避ける）の効果についてのみ述べる。

図6は最適な適応策を実施した場合の収量変化および適応策の効果（適応策による収量の増分）に関する分布を示している。ここで、最適な適応策とは、各年の気象条件で収量が最大になるように移植日を決めたとき、対象期間（2031～2050年あるいは2081～2100年）内でもっとも出現の多い移植日を示す。

以上より、ここで使用した気候変化シナリオによる影響と適応策の効果について次のようにまとめられる。

- 1) 適応策を考慮しない場合、収量は全国で減少する。
- 2) 適応策を考慮すると、対策を行わない場合

に比べて、2031-2050年の期間では西日本では収量増加が見込めるが北日本では依然減少する。2081～2100年の期間ではほぼ全国的に増収が見込まれる。この増収効果は南西日本で大きい。

もちろん、品種改良、肥培管理の効果も極めて有効である。その場合も、実験や観測による基礎的な知見を踏まえて、モデルの中に品種特性に応じた環境応答性を入れることなどにより効果を評価することができるであろう。

中国への影響

東アジアにおける最大の生産国であり消費国である中国の農業は、経済発展、人口増加に加えて環境変化に伴うリスクにさらされている。そのような状況で、主要畑作物（コムギ、トウモロコシ）の生産は、天水に頼った栽培が多くの地域で行われており、年々の気候変動、とりわけ降水量変動に対して脆弱である。過去においても、干ばつや洪水による被害が頻発し、特に近年は、その生産量変動の頻度ならびに幅も増大する傾向が見え始め

ている^{10), 11), 12), 13)}。このような変動の実態を解明し、かつ今後予想される気候変化に伴う、さらなる影響およびその対策を評価することは、アジアひいては世界の食料安定供給の観点から重要な課題である。

ここでは、過去および将来予測される気候変動によって引き起こされる、中国における主要穀物の栽培環境と生産量の変動について、影響が大きい生産地域の抽出ならびに変動をもたらす要因の解析を作物の生長過程ならびに生育環境の変化を考慮して行った結果を紹介する。

中国における穀物生産の脆弱性を畑作物にとって最も重要な土壌水分環境の面から評価するために、作物生育・生長に最も重要な土壌表層付近の水分環境を推定する簡易な水収支モデルを利用する。モデルは作物ごと、地域ごとに播種期、生長期、収穫期のフェノロジーを考慮し、日別の気温、日射量、降水量を入力として、根圏土壌の有効水分量が出力される。これは植被状態を考慮して算出される蒸発散量とその場の降水量との差し引きで算出される。次にモデルの構造を少し詳しく説明する⁹⁾。

広域の農耕地の土壌水分評価には、これまでも様々なモデルが提案されているが、ここで使用するモデルは、FAOが中心となって開発し、Global Agro-Ecological Zones Projectsで用いられているモデルの改良版である²⁾。この方法の利点は、簡単な構造で詳細な入力パラメータが必要でないこと、および農耕地の土壌水分環境の評価と検証が各地で行われていることが挙げられる。

ある j 日の土壌水分 W_j は根圏に貯えられる(植物が吸水できる)水分保持容量を W_c とすれば、その収支から、

$$W_j = \min(W_{j-1} + P_j^r + M_j - Ea_j, W_c)$$
で与えられる。ただし、 P_j^r は降雨量(mm)、 M_j は積雪があるときの融雪量、 Ea_j は植被の影響も含めた地表面からの蒸発散量(実蒸発散量)である。

一方、積雪層における収支から、 j 日の積雪量 W_j^s (単位は水量換算で、mm)は、次式で決まる。 P_j^s はその日の降雪量を示す。

$$W_j^s = W_{j-1}^s + P_j^s - M_j$$

ここで、融雪量はその日の平均気温 T_j (°C)と降雨量 P_j^r (mm)によって次式で推定される。

$$M_j = 2.63 + 2.55 \cdot T_j + 0.0912 \cdot T_j \cdot P_j^r$$

また、蒸発散量 Ea_j は可能蒸発散量 Eo_j と次式の関係があるとする。

$$Ea_j = \begin{cases} Eo_j & , (W_j + P_j^r + M_j) \cdot d \geq W_c(1-p) \\ \rho_j \cdot Eo_j & , (W_j + P_j^r + M_j) \cdot d < W_c(1-p) \end{cases}$$

ただし、係数 ρ_j は可能蒸発散量と実蒸発散量との比で次のように与えられる。

$$\rho_j = \frac{Ea_j}{Eo_j} = \frac{(W_j + P_j^r + M_j) \cdot d}{W_c(1-p)}$$

また、 d は根圏の深さである。 $1-p$ は蒸散に伴う可能吸水率で、植被の作物に応じた(後で定義される)可能蒸発散量 Eo^c の関数として次式で与えられる。

$$p = p_{ref} + 0.04(5 - Eo^c)$$

ここで、 p_{ref} は作物固有の定数である。

降雨 P_j^r あるいは降雪 P_j^s の判定には、日平均気温 T_j を用いて -1°C を臨界温度とする。すなわち、

$$P_j = \begin{cases} P_j^r & , T_j \geq -1^\circ\text{C} \\ P_j^s & , T_j < -1^\circ\text{C} \end{cases}$$

この判定基準によって、気象データの降水量から降雨、降雪を判別する。

可能蒸発散量 Eo_j は、土壌水分が十分にある

条件の下で、気候条件から決まる植物による最大の蒸発散量である。ここでは、FAO が提案している修正された Penman-Monteith 式²⁾を可能蒸発散量の推定に用いた。この FAO-Penman-Monteith 式は仮想的な草地からの可能蒸発散量を与えるもので、これを基準として季節、地域、作物による違いを表現するパラメータが与えられている。すなわち、作物の種類、生育ステージに応じて変化する係数 k^c を用いて、作物固有の可能蒸発散量を

$$Eo_j^c = k^c \times Eo_j$$

と表す。つまり、植被の状態の違いをすべて係数 k^c に帰着させるのである。以後、作物種ごとの土壌水分の違いを明示するために、上付の c を土壌水分 W_j^c 、蒸発散量 Ea_j^c に付けることにする。この記法で土壌水分の決定式を書き換えると次式ようになる。

$$W_j^c = \min(W_{j-1}^c + P_j^c + M_j - Ea_j^c, W_c)$$

また、過剰な水分の表面流出量 R_j (Run-off) は、

$$R_j = \max(W_{j-1}^c + P_j^c + M_j - Ea_j^c - W_c, 0)$$

で与えられるとする。ここでは、単純化のために地下浸透などの効果は考慮していない。

土壌水分環境が決まれば、農業生産に関係する有効なインデックスを定義することができる。まず、可能蒸発散量と実蒸発散量との差は、作物の生長に使用可能な土壌水分量とほぼ比例関係にあると考えられる。したがって、その栽培期間における積算値 D_{sw} は、土壌水分欠損 (Soil moisture deficit) として適切な栽培を行うための灌漑要求水量を表すインデックスである。

$$D_{sw} = Eo^c - Ea^c$$

ただし、 Eo^c と Ea^c は、それぞれ栽培期間の可能蒸発散量と実蒸発散量の積算を表す。

一般に、蒸発散量は作物の光合成量とほぼ

比例すると考えられる。したがって、可能蒸発散量と実蒸発散量の栽培期間積算値の比 Y_I は、バイオマス量ひいては収量の差異を表すと考えられ、土壌水分のストレスが生産に及ぼす影響を評価するインデックスと見なせる。

$$Y_I = \frac{Ea^c}{Eo^c} \times 100(\%)$$

ここでは、中国の農耕地における土壌水分環境の状態を表す上の四つ指標：土壌水分 W^c 、表面流出 R^c 、土壌水分欠損 D_{sw} 、および生産量インデックス Y_I の時間的・空間的変化を評価する。

どこで、いつ、どの作物が栽培されているかを表す栽培体系は、農耕地の土壌水分環境を評価する上で重要な情報である。中国では、有効積算気温による栽培体系の分類が広く用いられている¹⁾。ここでは、基準温度を 0°C に取った有効積算気温による分類を用いた。有効積算気温の値を五つに区分して、それぞれの区分ごとに代表的な栽培体系 (作付け体系) を表 1 のように決定した^{6), 7)}。

表 1 有効積算気温による中国における栽培体系の分類

有効積算気温 ($^\circ\text{C}$ 日)	栽培体系	収穫回数
≤ 4000	春コムギ	1
$4000 - \leq 5500$	トウモロコシ/冬コムギ	1.5**
$5500 - \leq 5800$	水稻/冬コムギ	1.5**
$5800 - \leq 6700$	水稻/水稻/冬コムギ	2.5**
> 6700	水稻/水稻/アブラナ	3

** 収穫回数の非整数は栽培体系の最後の収穫が翌年行われることを示す。

各作物の播種日と収穫日は、栽培体系別に平均的な日付を一様に仮定した。しかし、春

コムギは栽培している地域がきわめて広く、地域によるばらつきが大きいことから、一年を通して平均気温がはじめて5℃を越える日を播種日とし、栽培期間は標準的な期間である120日とした。

以上のモデルを用いて、主要穀物の栽培期間における土壌水分環境の変動を過去および将来にわたり広域的に解析した。ただし、天水栽培のみを仮定し、灌漑による水分補給は無視する。水分環境変動の長期変化を見積もるために、過去50年間を1946～75年および気温上昇傾向が見られる1976年～95年の2期間に分けて^{6), 7)}、各地域の作物栽培期間における平均的な土壌水分の比較を行った。さらに、将来予想される気候変化に対する影響を評価するために、英国気象局ハドレーセンターの大気・海洋循環結合モデル(HadCM2)の気候変化シナリオに基づいて、0.5度グリッドに線形内挿した気候変化シナリオを用いて、2031～2065年間の変動と過去(1961～95)の変動との比較も併せて行った⁹⁾。なお、温室効果ガスの排出シナリオはSRES A2で

ある。

過去50年(1946～95年)における土壌水分環境の時空間変動解析の結果を図7および図8に示す。図7は1946～75年の平均値に対する1976～95年の2期間平均値の比、また、図8は2期間の平均値について、両側t検定による有意差を表したものである。その結果、河北省、河南省、山東省を含む華北平原および東北平原の一部において有意な乾燥傾向が見られ、平均土壌水分が最大で10mm以上減少した地域が存在したことが分かった。この減少傾向は、主に気温の上昇とそれに伴う蒸発量の増加によるものであった。また、これらの乾燥地域では土壌水分の年変動の幅も増加傾向にある。さらに、黄河流域の表面流出量も減少傾向であることも示された。

将来予想される気候変化に対する解析(2031～2065年間の変動と過去[1961～95]の変動との比較)においても、過去と同傾向の時空間変動パターンが見られ、一般に南部では土壌水分量は増加するが、北部の畑作地帯では乾燥地域の面積が増大すると予測され

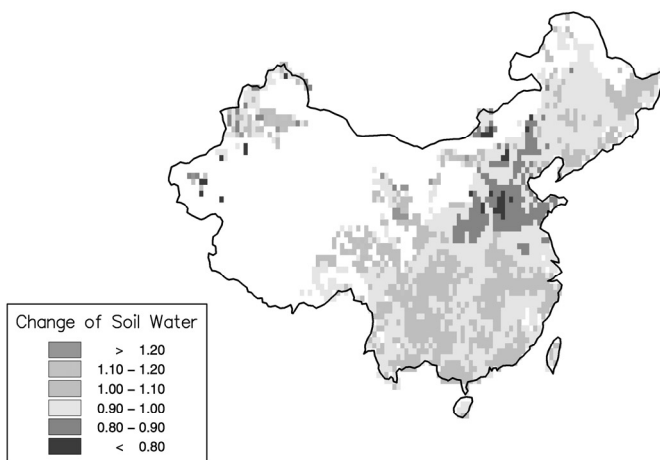


図7 規格化土壌水分(根圏土壌水分保持容量に対する年平均土壌水分の比)の変化
1946～75年の平均値に対する1976～95年の平均値の比を表す

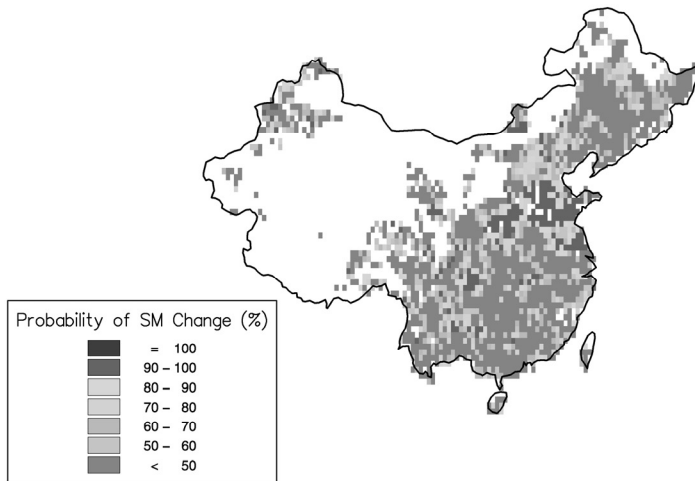


図8 図7の変化の有意差分布
「1946～75年の平均値と1976～95年の平均値とが等しい」を帰無仮説とした場合の棄却確率を表す

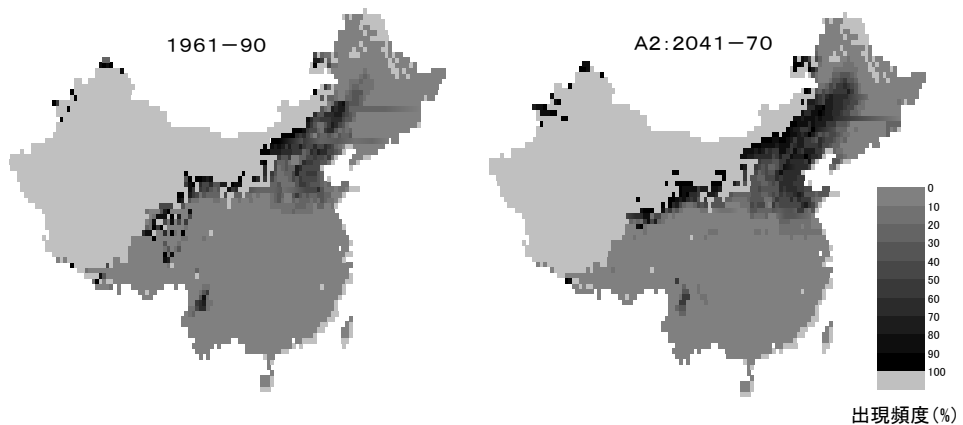


図9 収量に対する水ストレス指標(可能蒸発散量と実蒸発散量の比)が0.5以下になる年の出現頻度の変化

た。以上の結果から、中国東北部、華北地域が過去および将来ともに気候変化に対して特に脆弱であることが示された。

可能蒸発散量と実蒸発散量の比は最終収量に対するストレスを表す。この比の値の年変動に対して、過去（1961-1990）と将来（2041-2070）のそれぞれ30年間で比較し、0.5以下になる年の出現頻度を図示すると(図9)、高頻度（黒いグリッドで示す）の領域が

華北平原や東北部を中心として拡大する傾向があることも示された。

中国の華北平原は、春コムギ、トウモロコシおよび冬コムギの栽培地帯であり、とくに山東省、河南省、河北省は、3省で全国のおよそ60%を生産するコムギの主要生産地域で、コムギを主食とし、地場の消費量も多い。また、東北平原では、これまで春コムギが主に栽培されてきたが、南部の吉林省、遼寧省な

どでは耕地条件の整備に伴い換金率の高いトウモロコシ栽培への転換が図られている。しかし、気候変化による土壌水分環境の悪化は、その収益率を下げる危険性があり、また最近では、黒竜江省などで水稲栽培地域が拡大しつつあり、それに必要な水使用量の増加に伴う水資源量の不足も懸念される。湖南省、四川省、湖北省を含む長江中下流域は、主として水稲の栽培が行われており、裏作でコムギやアブラナが栽培されている。水稲の生産量は全国の約 70%に達する。この地域には土壌水分量の増加傾向が見えるが、長江上流の降水量増加による表面流出量の増加で、下流域での洪水の危険性も増している。

したがって今後、安定した穀物生産を維持するためには、脆弱性が高いと評価された地域を中心に、小流域スケールの水資源量の変動を考慮して、栽培作物種の選定ならびに水涵養機能を生かした農業生産形態の確立が必要になると考えられる。

今後の課題

現在、気候変動が農業生産に及ぼす影響に関する研究は数多く行われている。しかし、まだ予測の不確実性を小さくするために解決すべき課題も多い。

一般に、大気 CO₂ 濃度、気温の上昇は短期間には作物の生長を促進し水利用効率を改善する。しかし、長期的見ると、必ずしもその効果は増収にはつながらない可能性がある。環境変化の持続的作用による植物の応答をさらに解明する必要がある。一方、個体から群落、生態系レベルまでの異なる空間スケールで、CO₂、気温、水分環境変化の複合的影響を解明する必要がある。そのためには、基礎的な実験データの継続的蓄積とその成果に基

づいた適切なモデル化が求められている。

ここでは気象条件の変化に対する作物の応答を中心に見てきたが、当然、それに伴う土壌養分、雑草との競合、病気、昆虫の発生・消長、農薬、肥料などの生産阻害要因も考慮しなければならない。環境変化の農業生産への影響予測には、それらの要因も取り入れた統合的なリスク評価モデルが有力な道具となる。

農作物の生産量は栽培した耕地の単位面積あたりの収穫量を表す収量とその作物を収穫した耕地面積を表す収穫面積との積で求められる。一般に、収穫面積は作物を播種し栽培した耕地の栽培面積とは一致せず、栽培期間中の環境条件に応じて収穫可能な領域は決まる。また、栽培面積の変動は、作物や土地価格などの社会経済的要因によって影響を受けるため、それらの要因を取り入れたシナリオあるいはモデルによって別途推定する必要がある。さらに、これまでの環境変動に対する作物収量の影響評価研究においては、栽培期間中の環境条件に基づいた潜在生産性を評価するモデルが中心であった。しかし、潜在生産性は実際の収量とは異なり、相対的な変動を議論する場合は良いが、経済評価といった絶対量を必要とする場合には不十分である。

国内全体だけでなく、国を越えた広域な影響評価は地域の食料需給を考える上でも重要であるが、そのための基礎的データの整備が求められている。土地利用、栽培形態、作付け・収穫の時期、農業用水資源などの広域かつ網羅的なデータベースの作成が必要である。さらに、影響を緩和する適応策の提示を行うためには、農業の経済的側面、例えば地域、国の経済発展度に応じた適応策の実行可能性の違いも考慮に入れる必要がある。

参考文献

- 1) Chinese State Flood Control and Drought Relief Headquarters, 1997, Flood and drought disasters in China (In Chinese). Chinese water conservancy and hydro-electricity publishing house, Beijing, China.
- 2) FAO, 1992, CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage paper 46, Land and Water Development Division, Rome.
- 3) Heilig, G.K., 1999, China Food: Can China feed itself? International Institute for Applied System Analysis, Laxenburg.
- 4) Horie, T., Nakagawa, H., Centeno, H.G.S. and Kropff, M.J. 1995, The rice crop simulation model SIMRIW and its testing, in Modeling the Impact of Climate Change on Rice production in Asia, R.B.Matthews et al. (eds.), IRRI and CAB International, Wallingford, pp. 51-66.
- 5) IPCC, 2007, Climate Change 2007: Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D.Qin, Manning, M., Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and Miller (eds.), Cambridge University Press.
- 6) New, M., Hulme, M. and Jones, P. 1999, Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. Journal of Climate, 12: 829-856.
- 7) New, M., Hulme, M. and Jones, P. 2000, Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. Journal of Climate, 13: 2217-2238.
- 8) 清野 裕 1993、アメダスデータのメッシュ化について、農業気象、48: 379-383.
- 9) Tao, F., Yokozawa, M., Hayashi, Y. and Lin, E. 2003, Future climate change, the agricultural water cycle, and agricultural production in China, Agriculture, Ecosystems and Environment, 95: 203-215.
- 10) Tao, F., Yokozawa, M., Hayashi, Y. and Lin, E. 2003, Changes in agricultural water demands and soil moisture in China over the last half-century and their effects on agricultural production, Agricultural Forest Meteorology, 118: 251-261.
- 11) Tao, F., Yokozawa, M., Hayashi, Y. and Lin, E. 2003, Terrestrial water cycle and the impact of climate change, Ambio, 32: 295-301.
- 12) Tao, F., Yokozawa, M., Zhang, Z., Hayashi, Y., Grassl, H. and Fu, H. 2004, Climatological and agricultural production variability in China in association with East Asia summer monsoon and El Nino southern oscillation, Climate Research, 28: 23-30.
- 13) Tao, F. and Yokozawa, M. 2005, Risk Analyses of Rice Yield to Seasonal Climate Variability in China, Journal of Agricultural Meteorology, 60: 885-887.
- 14) Yokozawa, M., Goto, S., Hayashi, Y. and Seino, H. 2003, Mesh climate data for evaluating climate change impacts in Japan under gradually increasing atmospheric CO₂ concentration, Journal of Agricultural Meteorology, 59: 117-130.
- 15) 横沢正幸、2003、「地球温暖化が農林生態系に及ぼす影響. 3. 大気 CO₂濃度、温度および水分環境の変化と作物の応答」、日本土壌肥料科学雑誌、74: 229-236.

(農業環境技術研究所

大気環境研究領域 主任研究員)



異常気象と林業

鷹尾元

はじめに

森林は時に突発的な攪乱を被る。それは自然現象であったり、盗伐や失火、汚染など人為的な原因によるものであったりする。自然現象による攪乱は長い森林の遷移の中ではある程度織り込み済みの普通の現象であるが、森林からの生産を生業とする林業では攪乱は損害であり、いずれにしても困るものである。まして、将来、攪乱がこれまでよりも増えるかもしれないのであれば、それに合わせた対策をとらなければならない。

自然の攪乱は主に異常気象による気象災害、あるいは異常気象が間接的に関わる火災や病虫害などである。これらの攪乱の発生は年により大きく変動するとともに、長期的な変化の傾向がある。そして、地球温暖化が世界的に大きな問題となる中、異常気象の発生にも変化の兆候が見られる。

異常気象や森林の気象災害は変化してきているのであろうか。それらは将来変化するのであろうか。将来変化するとすれば、どのように対策を立てればいいのか。

本稿では、森林の気象災害と異常気象について公開されている最新の資料を用い、それらの現在までの傾向と今後の予測について概

観する。なお、本稿は末尾の参考文献にほぼ全面的に拠っているので、引用を文中に示さない。

異常気象と森林の被害

異常気象とは気象現象のうち「一般に過去に経験した現象から大きく外れた現象で、人が一生の間に稀にしか経験しない現象」であり、定量的には「ある場所(地域)で30年に1回程度発生する現象」として気象庁は定義している。これは統計的な定義であって、もし、ある現象の出現頻度がその年平均値に対して正規分布でばらつくとするならば、その現象が年平均値から標準偏差の±1.83倍以上外れた場合に相当する。

しかし、管理と収穫に長期を要する林業では、30年間に1回の頻度は必ずしも稀とはいえない。一方、林業の収穫は長年にわたる成長の累積なので、年々の気象の変動による成長の変化はある程度相殺される。頻度よりもむしろ、極端な気象現象が森林や林業に回復不可能な被害をもたらすかどうかの方が問題である。気象庁も「一般に異常気象という場合は、必ずしもこの基準によらずに、気象災害が起きるような極端な現象を指す場合が多い」と述べている。

そこで、本稿では「異常気象」を上記の意味のほかに「森林に大きな攪乱を生じさせ、

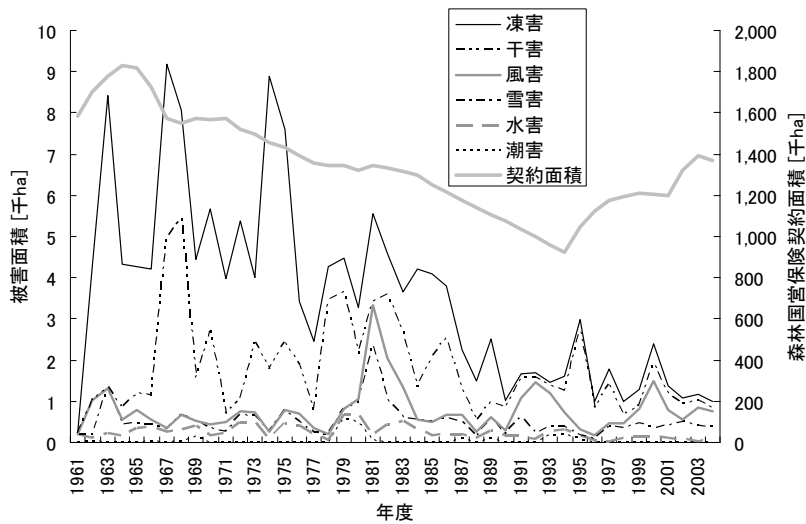


図1 日本の森林の気象災害の変遷

出典：林野庁 2005 より作成

あるいは林業に回復不可能な被害をもたらすような、「極端な気象現象」という意味でも用いることにする。すなわち、森林に気象災害をもたらすような気象現象のことである。

森林の気象災害とは、風害、水害、潮害、雪氷害、凍害、干害などのことである。また、森林火災も気象状態と密接に関わる。自然現象としての森林火災に適応した森林生態系もあるが、近年の森林火災の発火原因は主に人為的なものであり、一般的には好ましくない影響が大きい。さらに、後述するように、気候変化により病虫害の発生域が変化しかつ劇害化する可能性もある。一方、これらのような気象災害をもたらす異常気象は、異常高温・低温、異常少雨(雪)・多雨(雪)、台風などの暴風雨、雨水などである。

日本の森林気象災害

わが国の森林気象災害の傾向は林野庁の森林国営保険の統計から知ることができる。こ

れは、森林国営保険に加入している民有林のみについて、その契約状況と損失補填状況から毎年の被害状況を推測するものである。また、森林火災(林野火災)の動向は消防庁の火災年報(ここでは日本の長期統計系列から引用)から知ることができる。

森林国営保険の対象となる気象災害は風害、水害、雪害、干害、凍害、潮害である。林野火災も対象となる。ここでは、森林国営保険事業統計書から1961年(昭和36年)から2004年(平成16年)までの43年間の統計を見てみる(図1)。気象災害全体は減少傾向にある。保険契約面積も1994年までは減少傾向にあったが、災害の減少はそれを下回っている。1980年代までの約30年間、被害面積の大きな災害は主に干害と凍害であった。一方、1990年代以降、干害と凍害は非常に少なくなり、年によって風害あるいは雪害が散発的に発生するようになった。

この傾向は日本の気象の変化を表している

というよりも、むしろ林業と森林の構造の変化を表したものである。この期間に日本の森林の林齢構成は高齢化し、それに伴い被害の発生も変化した。保険契約の林齢構成は、1961年当時には1-5年生の森林が面積比で80%以上の圧倒的割合を占めていた。しかし、その後その面積比は減少し、反対に21年生以上の森林が増加して反転し、2004年にはほぼ80%を占めるまでになった。図2は林齢階別(1-10年生、11-20年生、21年生以上)に契約面積で標準化した気象災害の発生割合を示す。すなわち、各林齢階の森林面積が同一だった場合に発生したであろう被害の林齢階別面積比である。災害の種類により発生する林齢が異なることがわかる。風害は年により林齢に大きなばらつきを生じ、雪害も11-20年生が多いものの広くばらついているのに対し、水害、干害、凍害、潮害は1-10年生の幼齢林に被害がほとんど集中している。また、火災もばら

つきはあるものの幼齢林での被害が大きかったことがわかる。以上のように、日本の森林資源が成熟して植栽面積が減少してきたことが、干害や凍害の発生面積が減少し風害と雪害の散発的な発生が相対的に大きくなったことの一因である。

国有林・民有林を含めた全国の森林火災(林野火災)による毎年の焼損面積を図3に示す。1947年から2004年までの58年間で、年によりばらつきは大きいものの、全体的には減少の傾向にある。約12年ごとに焼損面積は半減、この58年間では約1/30にまで減少している(焼損面積[ha] = $39,515 \times 2^{-((\text{年度}-1947)/11.8)}$ 、 $R^2 = .69$ 、 $p < .001$)。

世界の森林気象災害

世界の傾向については、FAOがForest Resource Assessment 2005で世界各国の森林気象害などの森林攪乱と森林火災、そして病

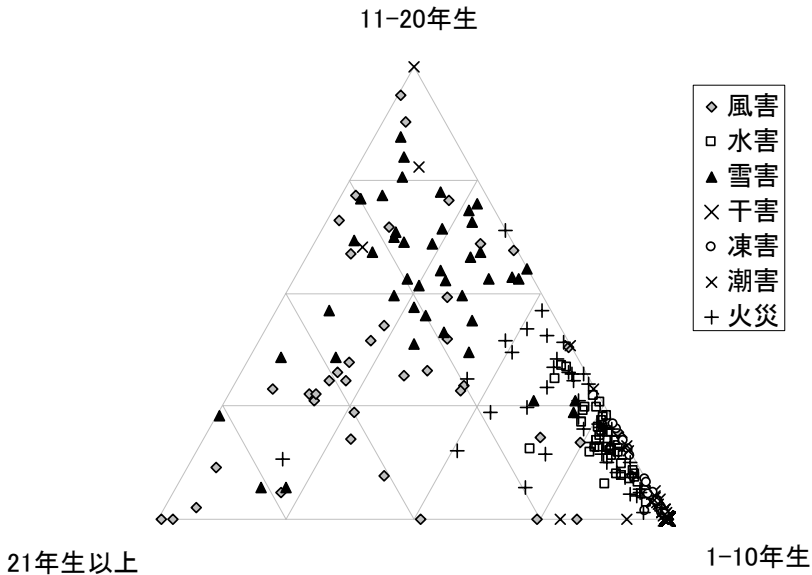


図2 日本の森林の気象災害の齢級構成

出典：林野庁 2005 より作成

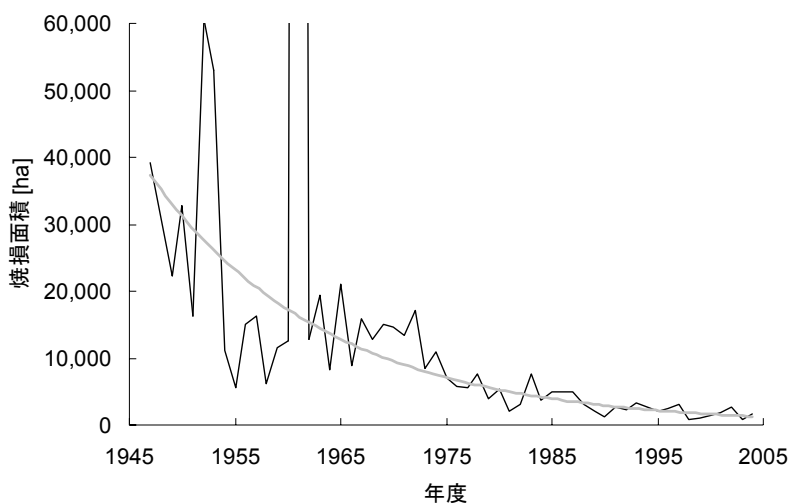


図3 日本の林野火災の変遷

曲線は焼損面積の指数回帰曲線(焼損面積[ha] = $39,515 \times 2^{-((\text{年度}-1947)/11.8)}$ 、 $R^2 = .69$ 、 $p < .001$)

出典：総務省統計局・統計研修所より作成

虫害の現状と動向を解析した。その方法は、これらの被害の1990年前後の5年間(1988 - 1992)と2000年前後の5年間(1998 - 2002)の国ごとの平均値を比較検討するものである。森林攪乱には風害や雪害、氷害、水害、台風、干害などの気象害のほかに、病虫害以外の食害(ラクダ、ビーバー、シカ、ネズミ)も含んでいる。

しかし、世界の森林攪乱の全体像とその動向は必ずしも明らかではない。森林攪乱の統計を報告した国は少なく、2000年時点で全世界で55カ国、全森林面積の35%をカバーするに過ぎない。地域的には、ロシアを含む欧州のほぼ全域と、中国を含む東アジア、インドネシアを含む南・東南アジアで、報告された森林面積の90%以上を占める。その他の地域では地域の森林の10%未満しか報告されていない。

2000年時点での被害面積比の世界平均値

は0.6%であり、全体的には森林攪乱は森林火災ほどには大きなものではなかったことが伺える。地域別には、欧州の被害面積比は0.8%と平均値よりも高い。これは、1999年12月に欧州を襲った暴風雨による風害によるところが大きい。東アジアでは日本と中国のみが報告しており、中国で約0.5%の被害が報告されている。

一般的に森林気象害は台風など破壊的な単一の現象により大規模な被害を引き起こされることが多い。特に、風害は2000年時点の欧州と熱帯地域で最大の要因であった。このため、観測期間により被害の増減が激しい。例えば、欧州では上述の暴風雨のために1990年時点から2000年時点までに被害がほぼ倍増している。また、上述のように統計自体が十分でなく、1990年時点から2000年時点までの森林攪乱の世界的な傾向を論じることは難しい。

森林火災は森林撈乱よりは多くの国々から報告されている。森林面積比ではアジア、欧州、北・中米および南米のほぼ全域から報告されている。しかし、アフリカの約20%しか報告がなく、またオセアニアの90%以上を占めるオーストラリアおよびパプアニューギニアからの報告がない。また、衛星画像から推定される焼損面積は各国の報告値より大きいことがあるなど、過小推定も疑われる。

2000年時点で焼損面積比の世界平均値は0.9%である。特に大きかった地域は北アフリカである。ここでは、森林面積の29%を占める6百万haで森林火災を被った。ここでは1990年時点にも9百万haが焼損している。また、南・東南アジアでも2000年時点で森林面積の4.1%にあたる11百万haで火災が起きた。これは2000年時点で報告された全世界の森林火災面積の約4割にあたる。1990年から2000年までの間に、火災が増加した国が35カ国、減少した国が31カ国、同水準にとどまる国が25カ国あり、その間の全体的な傾向を論ずることはこの資料からでは難しい。

気候変化と異常気象

異常気象とは、最初に述べた通り、ある気象の値について長年の観測値の分布から統計的に定められたものなので、わずかながらある頻度で必ず起きるものである。しかし、その値の分布自体が変化してしまうと、その異常気象が統計的に予想されていた頻度よりも頻発するようになったり、逆にほとんど起こらなくなったりしてしまう。

現在、地球温暖化が進行している。この変化は、地球全体の平均気温の長期傾向からも明らかである。そして、その主な原因は地球温暖化ガス排出などによる人為的なものと考

えられている。これまでに前例のない速度で進む地球温暖化は地球上の自然環境と人間社会に大きな影響を与えると考えられており、温暖化を減速させるとともに、来るべき変化に備える必要がある。そのために、「国連気候変動枠組み条約 UN Framework Conventions on Climate Change (UNFCCC)」は世界の主な国々の間で締結され、その締結国会議(COP)で具体的な取り組みについて議論が行われてきた。第13回締結国会議(COP13)は今年12月にインドネシアのバリ島で行われる。地球温暖化とその防止に森林が果たす役割について広く議論を行うために、CIFORが主催するサイドイベント“Forest Day”も開かれる。

「気候変動に関する政府間パネル International Panel on Climate Change (IPCC)」は地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済的な評価を行い、得られた知見を政策決定者などに利用してもらうことを目的に1988年に設立された。IPCCは1990年から2001年までに3次に渡る評価報告書を発表してきた。そして今年2007年には第4次報告書(AR4)が三つの作業部会報告書と統合報告書が順次発表された。これらの報告書では、地球温暖化とそれに伴う社会への影響、そして地球温暖化の緩和について、現時点での最新の科学的知見を集成している。これらの報告書は、地球温暖化に伴う様々な証拠(観測値の変化)の解析と将来の予測から成り立っている。そして、全体を通し、これまでの報告書よりもさらに温暖化の傾向がはっきりしてきたとしている。

次項では、AR4のうち第1作業部会(WG1、自然科学的根拠)と第2作業部会(WG2、影響・適応・脆弱性)の報告書から異常気象と森林に関連する部分を抜粋要約して、森林気象災害

の全世界的な変化の現状と近い将来について俯瞰する。異常気象の原因となる気候の長期的・慢性的変化は地球環境と人間社会により大きな影響を与え、気象災害に対する脆弱性を増加させるが、その関係は複雑で影響は多岐にわたるため、ここでは多くに触れない。また、異常気象が森林と林業以外の自然環境や社会に与える影響についても同様である。

気候変化と森林の被害

1. 気候変化と林業

林木の成長に対する地球温暖化の影響はさほど大きくなく、中短期的にはわずかな増加ないし減少が生じると考えられる。地域的には、高緯度地域では成長が増大する一方で、低緯度地域では成長が減少する。また、高二酸化炭素による成長の増加は若齢林では認め

られるものの成熟林では認められない。例えば、欧州では北部で成長が増加し、また山岳部で垂直森林限界が上昇する一方で、地中海沿岸などでは火災の危険性が増し、森林が減少する。

林業生産は、気象現象の平均値の変化よりも、むしろ異常気象による災害の頻度・強度の増加と火災や病虫害の増加により大きな影響を受けると予測されている。そして、もしも熱帯林の減少など土地利用の変化が現在の速度で続くなら、森林を含めた地上生態系は2100年までに炭素の発生源となり、気候変化を緩和でなく加速させるものとなる。

各異常気象と災害について次項以降で概観する。表1に異常気象の林業と社会への影響の例をまとめた。

表1 異常気象の林業と社会への影響の例

現象とその傾向	21世紀中にこの傾向が実現する可能性	林業・生態系／地域住民・社会への予測される影響の例
寒い日(夜):減少 暑い日(夜):増加 (ほとんどの陸域)	ほぼ確実である	・寒冷地での収穫の増加 ・温暖地での収穫の減少 ・虫害発生の増加
熱波:頻度の増加 (ほとんどの陸域)	可能性が非常に高い	・温暖地での収穫の減少 ・火災危険度の増加 ・弱者・貧困層への影響
豪雨(雪):頻度の増加 (ほとんどの陸域)	可能性が非常に高い	・作物(林木)への被害 ・土壌流失 ・洪水による住居・交通等の破壊 ・社会基盤整備の費用増加
干害:被害地域の増加	可能性が高い	・収穫の減少や林木への被害 ・火災危険度の増加 ・人口移動の可能性
台風(熱帯性暴風雨): 活動の増加	可能性が高い	・林木の風倒害 ・洪水と暴風による地域社会の破壊 ・民間保険の危険地域からの撤退 ・人口移動の可能性
高潮:頻度の増加	可能性が高い	・塩害 ・沿岸保全か、土地利用の移動かの選択

IPCC 2007b Technical Summary Table TS.5 より抜粋して作成

2. 異常高温、異常低温、熱波

地球全体の温暖化の傾向は歴然としている。1995年から2006年までの12年間のうち1996年を除く11年は1850年から2006年までの157年間のうち最も暑かった上位12年の中に入る。しかも、温暖化は加速する傾向にある。異常な高温や低温もこの全体的な傾向に沿っている。世界の中緯度地域で霜日が減少し、寒い夜も減少している。反対に異常な高温は増加している。例えば、2003年夏の欧州の熱波は最近500年間で最も暑い夏だったと考えられている。

異常な高温が増加し、低温は減少するという傾向はさらに継続すると考えられる。土壌の乾燥は異常な高温の発生に拍車をかける。熱波の発生は、特に西欧、地中海、米国南東部および西部で顕著に増加すると考えられる。一方、霜日は減り、一般的に植物の成長期間は長くなる。これは農林業にとっては好ましい傾向であるが、これがさらに気候変化に影響を与えることも考えられる。実際、一部の地域では成長期間の長期化により成長増大が認められる一方、熱波や乾燥、夜間呼吸量の増大などの影響で成長が低下している地域も見られる。

温暖化により病虫害の大発生が増え、また異常な高温の増加により森林火災も増加することが予想される（5. 森林火災と病虫害を参照）。

3. 異常降水、干害、洪水

20世紀の間に観測された降水量の増減は、世界の地域によりまちまちである。降水量が増加したのは南北米の東部、北欧、北・中央アジアである。一方、減少したのはサヘル、地中海、アフリカ南部、南アジアの一部であ

る。しかし、激しい降水現象の増加は各地で観測されている。さらに、干害の頻度も増えている。特に熱帯や亜熱帯では干害が増加している。つまり、豪雪雨の頻度は降水量全体の増減以上に増え、豪雪雨の増加と乾燥が同時に進行している。

今後、この傾向は継続する。特に夏季の乾燥が亜熱帯北部から中緯度地帯にかけて進行する。そして、この夏季の乾燥による干害が引き起こされ、植物の大規模な枯死が発生する。一方、豪雪雨と洪水の可能性も上昇する。干害と洪水は両立しないように見えるが、降水量が豪雪雨に集中してその間に降水量の少ない時期がより長くなるのである。豪雨は表層流出が多く、その間に乾燥した時期が長く続き蒸発散が増加し、特に亜熱帯で干害が発生するようになる。

洪水の頻度は豪雪雨の頻度の増加に伴い、さらに高緯度地帯の暴風の増加とあいまって増加する。例えば、中・北欧では暴風雨の増加により集中豪雨を伴う非常に湿潤な冬が増加し、洪水の頻度も高まる。また、アジアモンスーン地帯では反対に夏に降水量と洪水が増加することが予想される。積雪地帯の一部では積雪量の増加により融雪時の洪水の増加が予想される。また、これらにより侵食や土砂崩れなど山地災害も増加する。

干害は、乾燥期間の長期化ばかりでなく、温暖化による降水パターンの変化にも影響される。アンデスやヒマラヤ、ヒンズークシなど、夏季の水の供給を融雪水や氷河からの水に頼る地域では、雪よりも雨が増え積雪量が減ったり氷河が融けて消滅したりすることにより、夏季の干害の可能性が高まる。この影響はすでに観測されている地域もある。また、融雪や氷河融解の増加による洪水や氷河湖決

壊による大規模な鉄砲水の恐れも増えている。

4. 台風と熱帯以外の暴風雨、高潮、高波

台風やハリケーンなど、熱帯低気圧は、全体の発生数は減少傾向にあるものの、強い低気圧の頻度が増加し、寿命が延びる傾向にある。例えば西太平洋では、2004年の熱帯低気圧の発生件数は1971-2000年の中央値よりやや多い程度だったが、台風は1997年に続き史上2番目に多く、日本では10個の台風で山地災害が発生した(それまでの記録は6個)。また、北大西洋では熱帯低気圧も増加する傾向にある。1970-94年には年平均8.6個の熱帯低気圧、5個のハリケーン、1.5個の大型ハリケーンが発生した。それが、1995-2004年には13.6個の熱帯低気圧、7.8個のハリケーン、3.8個の大型ハリケーンとなった。そして2005年には28個の熱帯低気圧、15個のハリケーンなど、未曾有の熱帯低気圧発生年となった。北大西洋と米大陸をはさみ反対側の東北太平洋では熱帯低気圧は減る傾向にあるが、強いサイクロンは増える傾向にある。その他の海域でも同様の傾向にある。

熱帯以外の北半球に発生する暴風雨は地域により増加または減少している。欧州では最近増加する傾向にあるものの、20世紀末の発生数は19世紀末の発生数と同じレベルに回復した程度である。南半球では増加の傾向にある。

モデルによる将来の予測によれば、熱帯低気圧は最大風速と降水量が増加する可能性は高い。一方、可能性はやや低いものの、弱い熱帯低気圧の数は減少することが予想される。すなわち、熱帯低気圧全体の数は増加ないし減少するものの、発生した熱帯低気圧は今までよりもより強い風雨を伴う台風やハリケ

ーンなどになると考えられる。熱帯以外の両半球に発生する暴風雨も、その全体の発生数は減るものの強さは増え、さらに両極方向に移動する傾向がある。

暴風雨の増加により、林木の風倒害も増加することが予想される。特に早生樹種では大きな被害がでる。さらに、風倒害の後には森林火災や虫害の発生の危険も増大する。

温暖化に伴う海水面の上昇は、激しい暴風の増加ともあいまって、高潮や高波、侵食の被害を増やす。19世紀まで数千年間安定していた海水面は20世紀から上昇傾向にある。特に1993年から2003年までの10年間の海水面の上昇速度は非常に速くなってきているが、これが温暖化によるものか長期変動の一部かはまだ不明である。海面上昇は地理的には不均一であり、世界平均の数倍の速度の海域から低下している海域までである。

これら高潮や高波、侵食、潮害の被害は世界の人口稠密な低地に大きな被害を与える。特にメコン川、ガンジス川、・ブラマプトラ川、ナイル川の各三角州で大きな被害が予想される。マングローブ林も大きな被害を受ける。

5. 森林火災と病虫害

森林火災や病虫害は、それら自体が気候変化や土地利用変化などに反応する生態系改変の要因である。つまり、気候変化により森林火災や病虫害の発生が変化して、気候変化のみよりもずっと早く生態系に影響を与える。北米では1960年から90年の間に人為的な森林火災に変化は認められないにもかかわらず全体の焼失面積は2.5倍になった。一方、東南アジアでは反対に人間活動によって森林火災の発生が生態系に有害なまでに増加した。

気温が上昇し、かつ降水量が減少あるいは乾燥が長くなる地域では、森林火災の危険度が高まる。例えばアジアでは、最近 20 年間に森林火災の頻度と強度が増加している。それは主に、気温の上昇、降水量の減少、そして土地利用の変化に関係している。そのほか、地中海地方、インドネシアやアラスカでも増え、さらにこれまでなかった地域でも発生が予測される。

病虫害の面積的な被害は森林火災をも上回る。特にそれは亜寒帯森林で顕著である。病虫害は温暖化に伴いすでに高緯度への移動が観測されている。例えば、米国のキクイムシや欧州の pine processionary moth はこの 20 年間に北に移動した。pine processionary moth は北方向に 10 年間で 27km、垂直方向に南斜面で 10 年間に 70m、北斜面で 10 年間に 30m の移動が観測された。温暖化と、森林火災や風倒害など他の災害と複雑に関連しながら、このような傾向が持続するものと考えられる。

6. 変化への適応

林業生産は上述の通り、異常気象の頻度・強度の増加や火災や病虫害の増加により大きな影響を受ける。しかし、ある特定の地点の被害を正確に予測することは今のところ困難である。現在は地域全体で予測される気象災害の変化を基に対策を立てるしかないであろう。

林業とそれを支える地域社会と切り離して考えることはできない。産業や社会が受ける被害は一般に次の 2 点にかかっている。

1. 異常気象など、適応の限界を越す変化
 2. 必要な資源(資金、人員、知識)へのアクセス
- 異常気象がより強く頻繁になる地域では、災害に対する経済的コストが上昇する。その

コストは直撃を受けた場所に集中する。一部の貧困社会は比較的危険度の高い土地に集中しがちであり、対処するすべもなく、また気候に左右される水や食料に頼る地域も多いことから、気候変動の影響を特に強く被る。気象災害による経済的コストの増大に伴い、効果的な経済財政的危機管理の必要性もすでに増している。民間の保険を利用できる地域では掛け金の変化により社会の適応が進むだろう。しかし、保険を利用できない地域や保険が撤退した場合には、政府などほかの仕組みが危機管理をしなければならない。いずれにしても、貧困層の危機管理と適応には特別の配慮が必要である。

おわりに

本稿では異常気象と林業との関係を、森林での気象災害の発生と危険性の観点から、公開されている最新の資料を基に概観した。その結果、森林への気象災害は、1. 森林の構成、2. 気候とその変化、3. 社会の危機管理、以上の 3 点に大きく左右されることが明らかになった。

日本の森林の気象災害の変遷は齢級構成の変化と密接に関連しており、過去に多かった幼齢林中心の災害と、最近散発的だが確実に発生する壮齢林または全齢級での災害とでは災害対策は異なるであろう。

一方、地球温暖化による気候変化とその影響の予測は温暖化ガス排出などのシナリオに基づくもので不確定な部分は大きい、少なくとも最近数十年間には異常気象とその災害の発生にこれまでになかった変化が現れ始めている。異常気象とその災害の強度と頻度の増加は、全体的・平均値の変化に比べてより強く急激な影響があり、また災害の復旧は防

止よりも大きなコストがかかることから、それに森林と社会が適応するための対策と、これ以上の森林減少や劣化を抑えて地球温暖化を緩和する対策との策定が急がれる。

異常気象が森林に与える影響の仕組みについてはまだ不明なことが多くあり、それらを明らかにしていくことが今後の被害の予測とより効率的な災害対策のために必要である。また、世界的には森林気象災害などの基礎的な統計が不足している。これらの統計は被害の予測や、災害発生時には被害の推定に不可欠であることから、日常的なモニタリングシステムを森林管理のスケールに合わせて整備していくことが必要である。

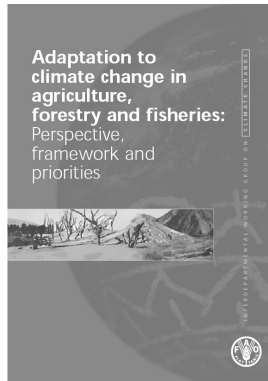
参考文献

- 1) FAO 2006, Global Forest Resources Assessment 2005, FAO Forestry Paper 147. Rome, FAO, 320pp
- 2) IPCC 2007a, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

- 3) IPCC 2007b, Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
- 4) 気象庁 2005、異常気象レポート 2005、気象庁、383pp.
- 5) 林野庁 2005、森林国営保険事業統計書 平成16年度、172pp
- 6) 総務省統計局・統計研修所 日本の長期統計系列 火災件数と被害 (大正12年～平成14年)
<http://www.stat.go.jp/data/chouki/zuhyou/29-07.xls>

(国際林業研究センター)



Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities (FAO, 2007)

農林水産業における気候変動への適応：見通し、枠組みと優先課題*

「気候変動に関する国際連合枠組条約（UNFCCC）」でも言及されているように、農業は気候変動への対応が必要とされる分野のひとつである。気候変動に伴う干ばつ、洪水といった自然災害は、将来の食料供給と密接に関係しており、すでに慢性的な食料問題と闘っている開発途上国のみならず、世界各国にとって深刻な課題となっている。

本書は、農業における気候変動の影響を明らかにし、その対応策と FAO の取り組みを紹介したものである。

目次

1. はじめに
農業における気候変動の影響
2. 農林水産業における気候変動への適応の枠組み
気候変動に適応するためのアプローチ
3. 気候変動への適応に関する FAO の活動
農業・生物多様性／土壌・土地管理／水管理／林業／農業と食料安全保障の相互作用／作物収量の見通し／畜産システム／漁業／農村生活／法律および政策／キャンペーン・ビルディングと技術移転／知識管理
4. FAO の貢献
FAO の貢献のテーマ別分野／パートナーシップ／リソース

* 季刊誌「世界の農林水産」2007年秋号（JAICAF, 2007年9月）に日本語訳（抜粋）を掲載

（FAO 日本事務所）

農林業技術相談室

—海外で技術協力に携わっている方のための—

ODA や NGO の業務で、熱帯などの発展途上国において、技術協力や指導に従事している時、現地でいろいろな技術問題に遭遇し、どうしたらよいか困ることがあります。JAICAF では現地で活躍しておられる皆さんのそうした質問に答えるため、農業技術相談室を設けて対応しております。

相談は無料です。ご質問に対しては、海外技術協力に経験のある技術参与が中心になって、分かりやすくお答え致します。内容によっては他の機関に回答をお願いするなどして、できるだけ皆様のご要望にお答えしたいと考えております。どうぞお気軽にご相談下さい。

相談分野

作物：一般普通作物に関する問題、例えば品種、栽培管理など
(果樹、蔬菜、飼料作物を含む)

土壤肥料など：土壤肥料に関する問題、例えば施肥管理、土壤保全、有機物など

病虫害：病虫害に関する問題、例えば病虫害の診断、防除(制御)など

質問宛先

国際農林業協働協会技術相談室 通常の相談は手紙または FAX でお願ひします。

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目 10 番 39 号 赤坂 KSA ビル 3F

T E L : 03-5772-7880 (代), F A X : 03-5772-7680

E-mail : info@jaicaf.or.jp

JAICAF 賛助会員への入会案内

当協会は、開発途上国などに対する農林業協力の効果的な推進に役立てるため、海外農林業協力に関する資料・情報収集、調査・研究および関係機関への協力・支援等を行う機関です。本協会の趣旨にご賛同いただける個人、法人の賛助会員としての入会をお待ちしております。

※団体統合により、2007年4月から賛助会員区分とサービス内容が変更となりました。

1. 賛助会員には、当協会刊行の資料を区分に応じてお送り致します。
また、本協会所蔵資料の利用等ができます。
2. 賛助会員の区分と会費は以下の通りです。

賛助会員の区分	賛助会費・1口
正会員（旧正会員）	50,000 円／年
法人賛助会員（旧法人賛助会員）	50,000 円／年
個人賛助会員A（A会員：旧 JAICAF 個人会員）	5,000 円／年
個人賛助会員B（B会員：旧 FAO 協会資料会員）	6,000 円／年
個人賛助会員C（C会員：新設）	10,000 円／年

※ 刊行物の海外発送をご希望の場合は一律 3,000 円増し（年間）となります。

3. サービス内容

平成 19 年度 会員向け配付刊行物等(予定)

主なサービス内容	正会員・ 法人賛助会員	個人 賛助会員 A (A 会員)	個人 賛助会員 B (B 会員)	個人 賛助会 C (C 会員)
国際農林業協力（年 4 回）	○	○	—	○
NGO と農林業協力（年 2 回）	○	○	—	○
世界の農林水産（年 4 回）	○	—	○	○
FAO Newsletter（年 12 回）	○	—	○	○
その他刊行物** （カントリーレポート、 世界食料農業白書*、 世界の食料不安の現状*）	○	—	—	—
JAICAFおよびFAO寄託図書館 の利用サービス	○	○	○	○

* インターネット web サイトに全文を掲載。

** 内容は変更されることがあります。

なお、これらの条件は変更になることがあります。

- ◎ 入会を希望される方は、裏面「入会申込書」を御利用下さい。

Eメールでも受け付けています。

e-mail : member@jaicaf.or.jp

「国際農林業協力」誌編集委員（五十音順）

池 上 彰 英	（明治大学農学部助教授）
板 垣 啓四郎	（東京農業大学国際食料情報学部教授）
勝 俣 誠	（明治学院大学国際学部教授）
紙 谷 貢	（前財団法人食料・農業政策研究センター理事長）
二 澤 安 彦	（社団法人海外林業コンサルタント協会専務理事）
西 牧 隆 壯	（独立行政法人国際協力機構農村開発部課題アドバイザー）
安 村 廣 宣	（社団法人海外農業開発コンサルタント協会専務理事）

国際農林業協力 Vol. 30 No. 2 通巻第 148 号

発行月日 平成 19 年 11 月 30 日

所 社団法人 **国際農林業協働協会**

編集・発行責任者 専務理事 佐川俊男

〒107-0052 東京都港区赤坂 8 丁目10番39号 赤坂KSAビル 3 F

TEL(03)5772-7880 FAX(03)5772-7680

ホームページアドレス <http://www.jaicaf.or.jp/>

印刷所 株式会社 創造社

International Cooperation of Agriculture and Forestry

Vol. 30, No.2

Contents

Extreme Climate and Agriculture in Developing Countries

IWANAGA Masaru

Special Topics: Extreme Climate and Agriculture in Developing Countries

Recent Climate Anomalies and Extreme Events in Africa

KADOMURA Hiroshi

Climate Change Impacts on Agriculture in Japan and China

YOKOZAWA Masayuki • TAO Fulu • IIZUMI Toshichika

Forest, Forestry and Extreme Weathers

TAKAO Gen