

# 二酸化炭素排出の現状と リスクへの適応

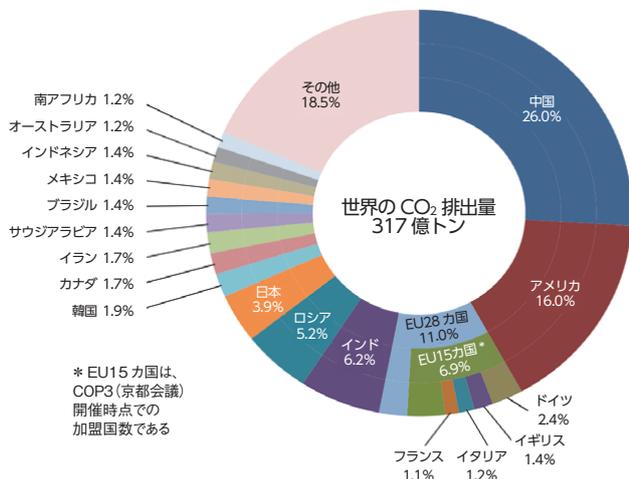
温暖化の進行に主に人間活動によって排出されるCO<sub>2</sub>が大きく影響していることは疑いようがありません。人間社会や自然の生態系が危機に陥らないためには、今すぐ、世界の国々が協力し合い、連携しながら、実効性の高いCO<sub>2</sub>排出削減の取組を行っていく必要があります。一方で、各地で現れ始めている気候変動による影響への「適応」も待たなしの状況です。

## 二酸化炭素の国別排出量

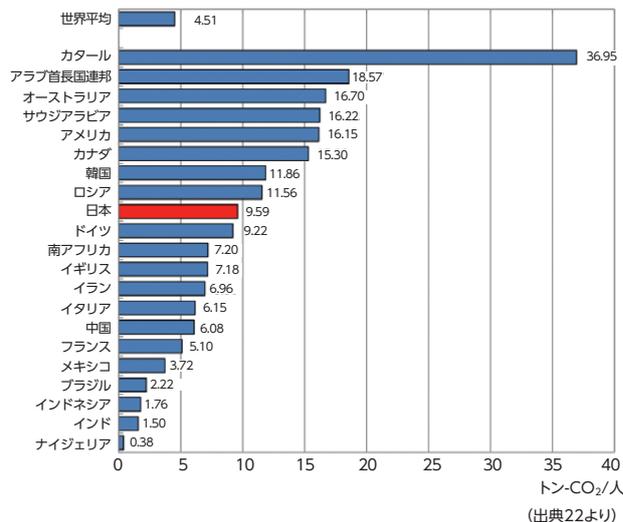
二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の国別排出量(2012年)をみると、中国が全世界(317億トン)の4分の1以上を占めて1位となっています。次いでアメリカが2位、日本は5位です。一方、国別の1人当たり排出量では、豊富な石油・天然ガス

を産出するカタールが群を抜いて1位で、同じく中東の産油国であるアラブ首長国連邦(2位)、サウジアラビア(4位)が上位を占め、最大の排出国である中国は日本より低くなっています。

■世界のエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量(2012年)



■国別1人当たりエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量(2012年)

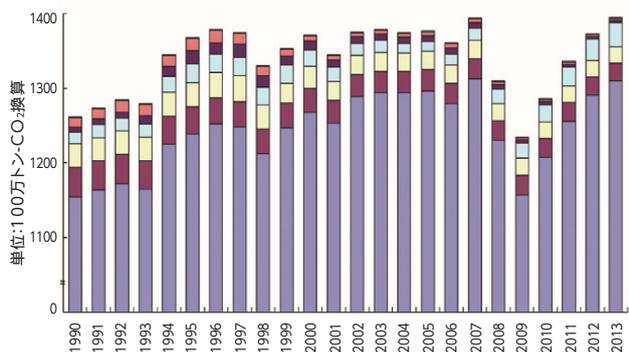


## 日本の排出量

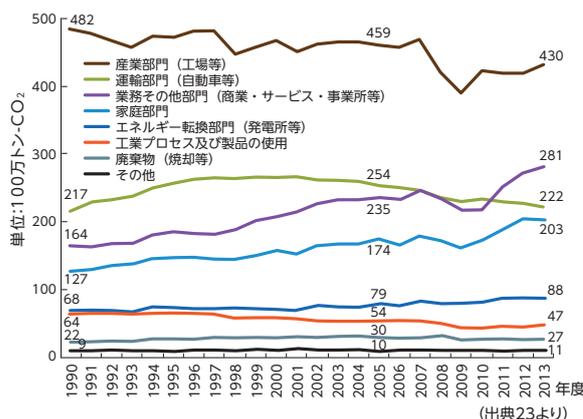
2013年度の温室効果ガス総排出量(速報値)は13億9500万トン(CO<sub>2</sub>換算)で、前年度と比べて1.6%、2005年度と比べて1.3%増加しています。部門別排出量では、排出量が最も大きい「産業部門」(工場など)では

2005年度と比べて6.3%減少していますが、オフィスなどの「業務その他部門」は19.5%増、「家庭部門」は16.3%増と大きく増加しています。

■日本の温室効果ガスの排出量の推移



■CO<sub>2</sub>の部門別排出量(電気・熱配分後)の推移



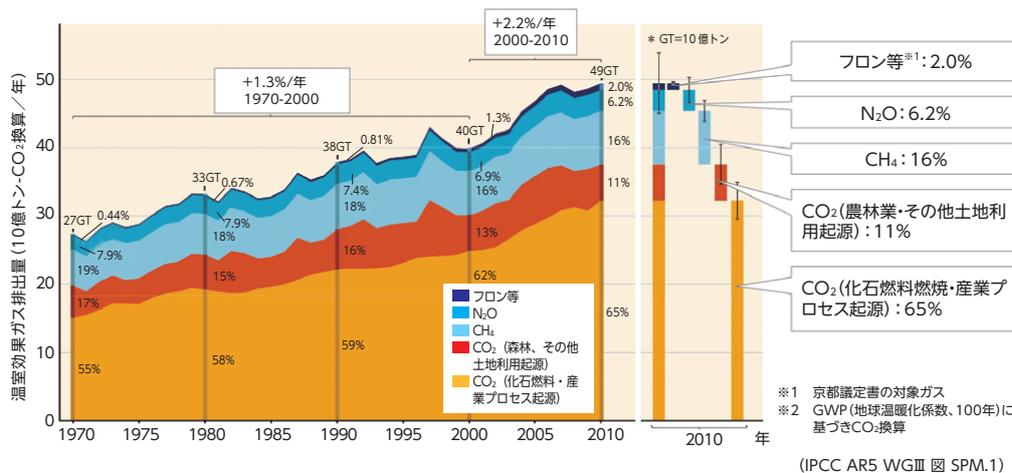
## ここ10年で排出量が急増

世界の人為起源の温室効果ガスの排出量は、1970～2010年の期間、一貫して増加を続けています。とりわけ、1970～2000年の期間は年率1.3%の増加であったものが、2000～2010年の期間では年率2.2%の増加と近年の増加率が高いことが分かります。

人為起源の温室効果ガスの中でも排出量の増加が著しいのが、化石燃料の燃焼や産業プロセスにおいて排出されるCO<sub>2</sub>です。1970～2010年の期間における温室効果ガス排出量増加分の約78%が、これらによるものと考えられています。

また、1750～2010年、すなわち産業革命以降の人為起源によるCO<sub>2</sub>累積排出量のうち約半分は過去40年間に排出されたとみられます。さらに燃料やセメント、原油採掘プロセスにおいて排出されるCO<sub>2</sub>に限ってみれば、この40年間で3倍に増えています。

■人為的な温室効果ガス排出量の推移<sup>※2</sup>

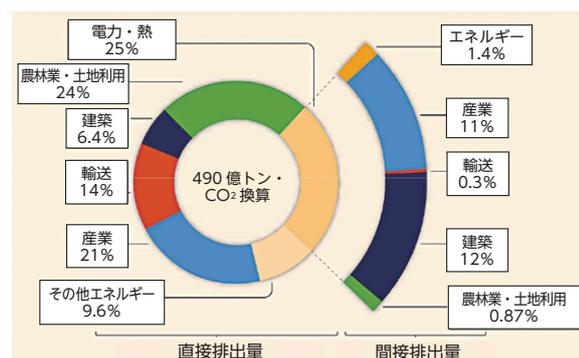


## CO<sub>2</sub> 排出量増大の要因

化石燃料を起源とするCO<sub>2</sub>排出量が増えている原因は何でしょうか。それは、主に経済成長と人口増であると考えられます。特に2000～2010年の期間でみると、経済成長による影響が、それ以前の30年間に比べて急激に高くなっていることが分かります。1人当たりのGDPが増えることで、CO<sub>2</sub>の排出も増える傾向が顕著にみられます。

2010年の人為的な原因による温室効果ガスの直接排出量を部門別にみる

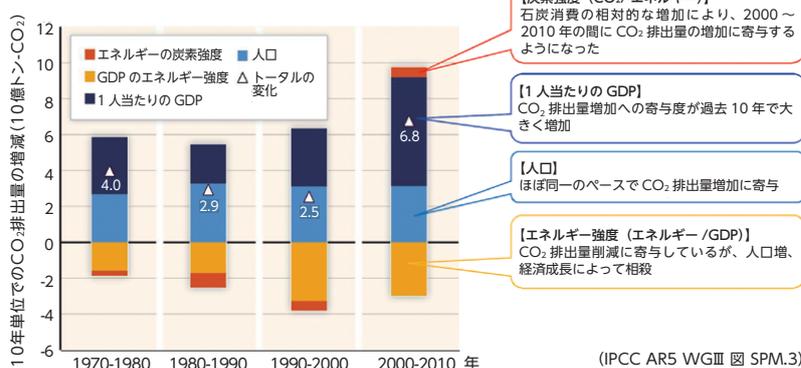
■温室効果ガスの部門別排出量(2010年)



\*直接排出量: 電力・熱に起因する排出をエネルギー転換部門に計上したものの  
間接排出量: 電力・熱に起因する排出を消費する需要部門に配分したもの

(IPCC AR5 WGIII 図 SPM.2)

■化石燃料起源CO<sub>2</sub>排出量変化の要因分析



と、電力・熱・その他を含めたエネルギー供給によるものが約35%と最も多く、農林業・土地利用24%、産業21%、輸送14%、建築6.4%となっています。しかし、電力・熱の内訳を部門別に配分した間接的な排出量を含めると、産業が30%を超え、建築も20%近くになるなど、排出量全体に占める割合は高くなります。経済成長はこれらの部門の発展を伴うものであり、いかに削減するかが重要になります。

## 2100年の排出量の将来予測——緩和に向けた4つのシナリオ

IPCC 第5次評価報告書では、温室効果ガス排出量の変化に関する複数のシナリオについて、2100年に想定される温室効果ガス濃度と気温上昇の予測を行っています。

シナリオは、人為的な起源による温室効果ガスの排出抑制に向けた追加的な努力(緩和策)を行わない場合の「ベースラインシナリオ」と、追加的な緩和策を実施した場合の「緩和シナリオ」に大きく分けられます。また、緩和シナリオには、2100年以前に濃度が一定の基準を超える「オーバーシュート」を想定したシナリオも用意されています。

緩和シナリオのうち、2100年の気温上昇を産業革命以前に比べて「2℃未満」に抑えられる可能性が「高い」のは、4つのRCPシナリオ\*1の中ではRCP2.6(2100年の温室効果ガス濃度/430~480ppm、CO<sub>2</sub>換算)だけです。他のシナリオ(RCP4.5,6.0,8.5、2100年の温室効果ガス濃度580~1000ppm超、CO<sub>2</sub>換算)はいずれも、2100年の気温上昇を産業革命以前に比べて2℃未満に抑えられる可能性は「低い」、あるいは「どちらかといえば低い」となっています。

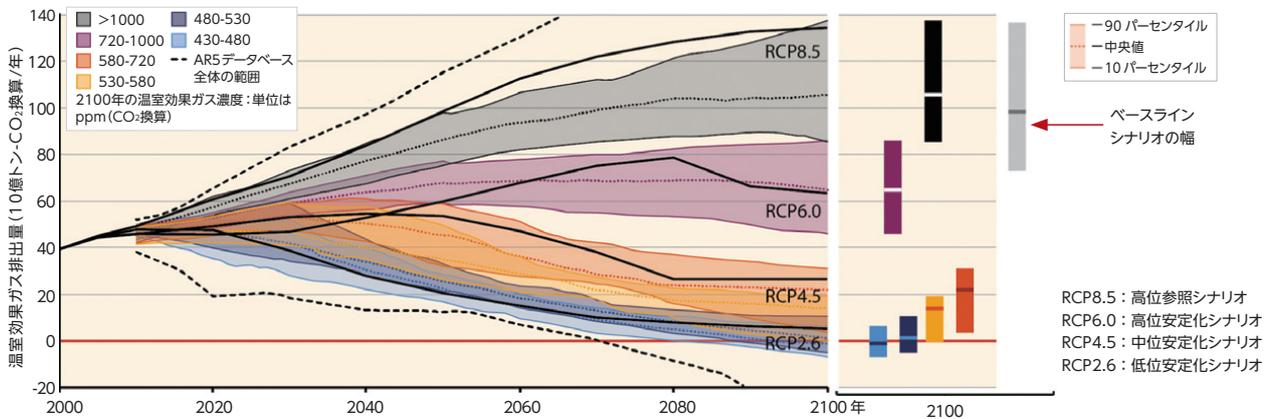
となっています。

RCP2.6では、2050年の温室効果ガス排出量が2010年に比べ40~70%低減し、2100年にはほぼゼロかマイナスになることを想定しています。それに向けては、植林や森林減少の抑制など土地利用の変化に加え、エネルギー効率の大幅向上が含まれています。太陽光や風力などの再生可能エネルギーや、CCS(Carbon dioxide Capture and Storage、CO<sub>2</sub>回収・貯留)付き火力発電、BECCS\*2などの低炭素エネルギーのシェアが、2050年には2010年の3~4倍に増加するとしています。こうした低炭素化のための主要技術はできるだけ早く導入しなければ、RCP2.6の達成は難しくなるうえ、CO<sub>2</sub>排出削減(緩和)に向けた総コストも大幅に増加します。

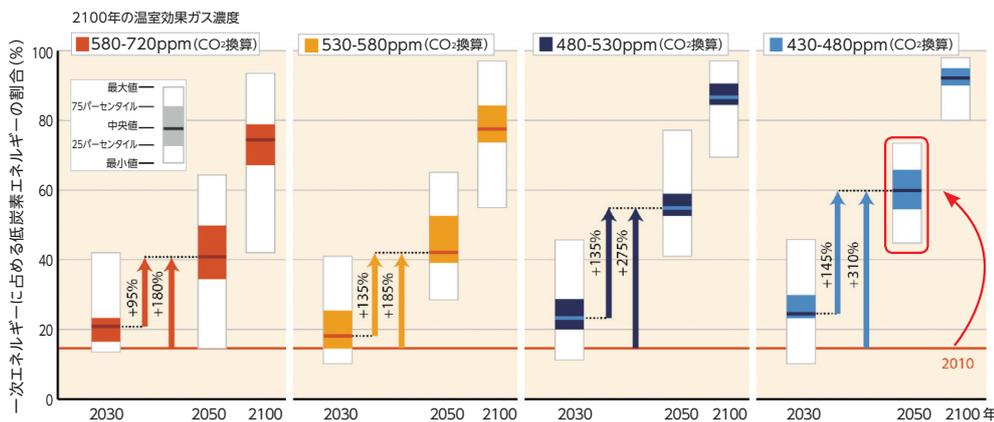
\*1 IPCC 第5次評価報告書では、2100年のCO<sub>2</sub>濃度の水準に応じた4つのシナリオを基に、気候予測や影響評価等が行われている。各シナリオのRCPとは、Representative Concentration Pathways(代表的濃度経路)の略。将来の温室効果ガス安定化レベルと、そこに至るまでの経路のうち、代表的なものを選んだ。RCPに続く数値が大きいほど、2100年における放射強制力(温暖化を引き起こす効果)が大きい。

\*2 BECCS(Bioenergy with CCS)は、バイオエネルギーとCCSを組み合わせることで、大気中のCO<sub>2</sub>を除去する技術。

### CO<sub>2</sub>排出削減(緩和)に向けた4つのRCPシナリオ



### 低炭素エネルギーの割合の推移(2100年の温室効果ガス濃度別)



一次エネルギーに占める低炭素エネルギーの供給の割合を2010年と2050年とで比較すると、430~480ppm(CO<sub>2</sub>換算)では、低炭素エネルギーの割合が3~4倍と大幅に増える。

# 温暖化への適応が始まっている

## 適応への一歩

温暖化対策には、大きく分けて「緩和」と「適応」の2種類があります（右上の図）。緩和は温室効果ガス排出を抑制することで、最優先で取り組む必要があります。そして、緩和を実施しても温暖化の影響が避けられない場合、その影響に対して自然や人間社会のあり方を調整していくのが、適応です。IPCC 第5次評価報告書では、気候変動に関連する影響やリスクを、緩和や適応によってどのように低減・管理できるかについて言及しています。

右下の図は、気候に関連した影響のリスクを概念的に説明したものです。人間、社会及び自然システムの脆弱性（影響の受けやすさ）、曝露（リスクにさらされること）、ハザード（災害、危険な事象など）の3つが相互に作用し合うことで、このリスクがもたらされるとしています。そしてこれらには、気候システムや、緩和や適応を含む人間の活動（社会経済プロセス）の変化が大きく関わっていると指摘しています。

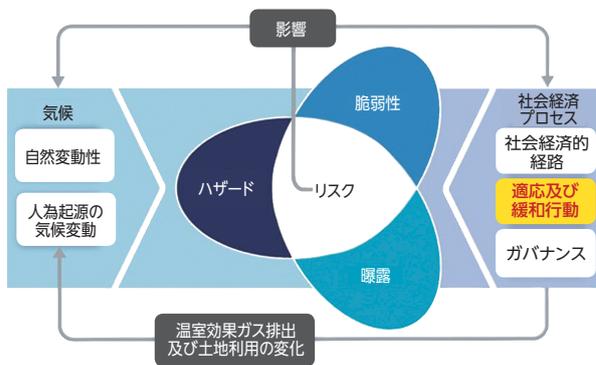
近年顕著になりつつある温暖化のリスクは、国や地域によってさまざま、あらゆる場所で有効な適応の方法というものはありません。その地域に適した法制度の制定や社会システムの整備などの適応策を講じていく必要があります。

温暖化のリスクというマイナス面ばかりを見るのではなく、温暖化のプラス面を積極的に生かすという考え方も必要です。例えば、夏季の高温を利用して亜熱帯地方の果物を栽培し、新しい市場を切り開くこともできるでしょう。「温暖化の時代をよりよく生きること」が、私たちに求められています。

## 2つの温暖化対策：緩和と適応



## 気候変動に関連したリスクの概念図



気候変動は、人間、社会及び自然システムにさまざまな影響やリスクをもたらす。そうしたリスクは、人間、社会及び自然システムの脆弱性（影響の受けやすさ）、曝露（リスクにさらされること）、ハザード（災害、危険な事象や傾向など）の3つの相互作用によってもたらされる（図の中央）。さらにその3つには、気候システム（図の左）や人間の活動（社会経済プロセス、図の右）の変化が大きく関わっている。（IPCC AR5 WGII 図 SPM.1）

## 世界の適応戦略と適応計画

「適応」に向けた戦略／計画策定への取組は、世界各地で始まっています。例えばイギリスでは2008年に気候変動法が施行されました。気候変動適応一行動枠組の下、国家適応プログラム（NAP）を2013年に策定し、5年おき

にレビューを行う仕組みを整備しています。

一方、オーストラリアは、熱波の増加によって森林火災がさらに頻発するとみられることから、早期警報システムや燃えにくい建築設計、燃料管理などに重点を置いた適応計画を立案しています。

## 海外の主な適応戦略／計画

| 国名      | 名称   | 分野   | 実施状況  |
|---------|--|--|---|
| イギリス    | ・英国気候変動適応一行動枠組(2008)<br>・国家適応プログラム(NAP・2013)                                     | ・7分野(環境創造、インフラストラクチャ、健康・回復力をもつコミュニティ、農業・林業、自然環境など)                               | ・行動枠組は、原則やプログラム策定までの流れを提示。<br>・適応プログラムは、31の目標ごとに各分野の具体的施策を列挙。影響評価で抽出した約100のリスクに対応させている。 |
| アメリカ    | ・省庁間気候変動適応タスクフォース進捗報告書: 国家気候変動適応戦略支援行動提言(2010)<br>・戦略的かつ持続可能な行動計画(省庁等41組織別・2013) | ・タスクフォース進捗報告は分野横断。WGは9分野。適応科学、適応計画、水資源の適応、保険、国際、コミュニケーションと広報、都市、健康、植物・魚類・野生生物で構成 | ・タスクフォース進捗報告は、原則や政策目標を提示。戦略／計画とは位置づけしていない。<br>・省庁別の適応計画は、大統領令に基づき各省庁が公表。                |
| オランダ    | ・気候変動に対する国家空間適応プログラム(ARK・2007)<br>・デルタプログラム(2011)                                | ・水、自然、農業、エネルギー、輸送、建築物・インフラストラクチャ、公衆衛生、レクリエーションの8分野(国家空間適応プログラムは分野横断)             | ・国家空間適応プログラムは、分野横断の考え方を提示。<br>・デルタプログラムは、洪水対策・淡水供給の具体的施策等を含む。毎年公表。                      |
| オーストラリア | ・国家気候変動適応枠組(2007)<br>・政府政策方針書(2010)  | ・適応枠組は、水資源、生物多様性、人の健康、自然災害管理など8分野<br>・政府政策方針書は、沿岸域の管理、インフラストラクチャ、自然災害の防止など6分野    | ・適応枠組は、分野横断的な考え方、5～7年の研究等に関する行動の指針が中心。<br>・政府政策方針書は、適応に対する政府見解、5～10年間に優先する分野等に言及。       |

(出典24より)

## 世界の適応への取組

世界各国では、気候変動の将来予測を踏まえ、特に影響の大きい分野や優先的に適応を進めるべき分野を特定し、被害額や適応に要するコストの検討なども行っています。海面上昇による高潮被害を防ぐ防潮堤の建設、高温による農作物被害への対策など、適応策は国や地域によってさまざまです。ここでは、世界の先進的な取組について紹介します。

### イギリス

2012年から適応プログラムを始動し、洪水リスク管理、水資源、淡水生態系などを優先分野として適応策に取り組んでいます。テムズ川河口の施設改良では、海面水位よりも低い土地を守るため、延長18kmにも及ぶテムズ防潮堤を設置。年10回程度の高潮に際しても、ゲートを閉じて浸水被害を防いでいます。

(出典25より)



テムズ川流域にある水門「テムズ・バリア」は、海面が仮に毎年8mmずつ上昇したとしても、2030年までは高潮に耐えられる設計になっている。

写真提供：藍谷鋼一郎

### オランダ

ライン川では、豪雨による洪水リスクの増大が懸念されており、2050年には現在よりも10%以上流量が増加すると予測されています。そこで洪水リスク管理計画「Room for the River」を策定し、約7000ヘクタールの遊水地を確保するなど治水安全度の向上を進めています。ライン川河口の都市、ロッテルダムには北海の高潮から都市を守るマエスラント可動堰が建設されました。

(出典26より)



ライン川河口の都市、ロッテルダムにあるマエスラント可動堰。北海の高潮から都市を守っている。

写真提供：het Keringhuis

### ツバル

マングローブは海と川が交差する河口部の汽水環境に生育する植物で、高潮や津波の被害から沿岸の地域を守る防潮堤の役割を果たしています。またマングローブ林には、淡水性と海水性の両方の生物、水域と陸域の両方の生物が生息し、豊かな生物多様性が育まれます。そこで温暖化による海面上昇などによって国土の侵食被害が増加しているツバルでは、フナフチ環礁フナファラ島などにおいてマングローブの苗木を植える活動が進められています。

(出典27より)



ツバルでは、高潮被害を防ぐ自然の防潮堤となるマングローブの植林が行われている。

©遠藤秀一 / NPO Tuvalu Overview

### オーストラリア

2006年にオーストラリアを襲った過去100年間で最悪といわれる大干ばつによって、同国の小麦生産量は前年比4割程度にまで落ち込みました。続く2007年も2年連続の干ばつとなり、オーストラリアの農業は大きな被害を受けました。そこでオーストラリア政府は、小麦農家に補助金を出すなどして、小麦の作付け地域を比較的雨の多い北部へ移転させる政策を打ち出しました。

(出典28より)



オーストラリアでは、南東部から南西部にかけて広がる小麦の作付け地域を北へ移動させる政策を打ち出した。

写真提供：風間深志



## 日本の適応への取組

日本においても適応計画の策定が進められています。気候変動の影響は地域によってさまざまであるため、適応策の策定と実施においては、地方自治体の役割が非常に重要です。すでに適応策について先行した取組を行っているのは、山形県、長野県、埼玉県、東京都、三重県、和歌山県などです。長野県は、「長野県環境エネルギー戦略～第三次長野県地球温暖化防止県民計画～」(2013年)の中に適応策の項目を設け、「気候変動モニタリング(観測)体制」や「信州・気候変動適応プラットフォーム」の整備を進めています。ここでは、和歌山県と山形県の適応への取組を紹介します。

### 暑熱ストレスに強い鶏をつくる

食料の生産現場では、作物別の被害状況の把握とともに、多様な適応策が進められつつあります。

こうしたなか、和歌山県畜産試験場養鶏研究所は、夏季の暑熱ストレスに強い採卵鶏の開発に取り組んでいます。もともと鳥類は汗腺を持たず、全身を羽毛に覆われているため、夏の暑さに非常に弱い動物です。温暖化によって夏の暑さが年々厳しくなるにつれ、採卵鶏では産卵率の低下や卵質の悪化、へい死数の増加などが見られるようになりました。養鶏農家にとって深刻な問題であり、早急に対策を講じる必要があります。

そこで同研究所では、暑熱ストレスに強い鶏をつくるため、県内特産品である山椒種子など抗酸化作用の強い素材を活用し、鶏に給餌する試験を行っています。その結果、暑熱ストレス下でも鶏の産卵率や日産卵量、卵質の低下を軽減でき、生産性向上効果が期待できることが分かってきました。今後この飼養技術を開発し、養鶏農家への技術普及と鶏卵の地域ブランド化、循環型社会の構築を目指します。

(出典29, 30より)



県内特産品を生かした抗酸化作用の強い素材を飼料添加し、鶏に給与した。①梅干しを作る際に出る梅酢を脱塩濃縮した「梅 BX70」、②ビタミンEを多く含む米糠抽出油脂「ライストリエノール」、③特産品の山椒を製造する際の副産物である「ぶどう山椒種子」の3つの素材について検討している。

### 東北で暖地作物のカンキツ類を育てる

全国有数の農業産出額を誇る山形県では、2010年に「地球温暖化に対応した農林水産研究開発ビジョン」を策定し(2015年3月改訂)、温暖化を先取りした戦略的な研究開発を進めています。

そのひとつが、暖地型作物の導入プロジェクトです。山形県ではサクランボやリンゴなど冷涼な気候を生かした農作物が多く栽培されていますが、数十年後には暖地で産地化されているカンキツ類などが栽培できると予測されています。そこで山形県庄内産地研究室では、スダチやカボス、ユズ、ウンシュウミカンなど8種類のカンキツ類を露地栽培する実証研究を行いました。その結果、スダチやウンシュウミカンなど5種類は全体を不織布などで覆うことで比較的良好に越冬でき、順調に生育できることが分かりました。特にスダチの実の品質は商用としても問題ないとの評価を得ています。樹体も大きく育ってきていることから、今後は安定的に栽培可能な栽培法の検討などを進めていきます。

(出典29, 31より)



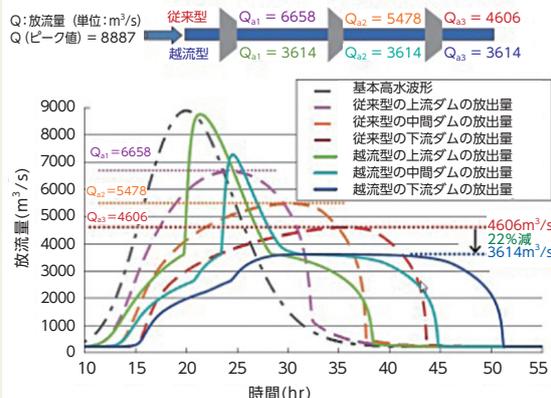
冬は気温が-7℃前後に下がるため、樹木全体を不織布等で覆うことで越冬させる。

## column

### 河川災害に適応する新しい防災技術

九州地方では毎年夏から秋にかけて激しい豪雨に見舞われており、洪水災害への適応が急務になっています。こうしたなか、九州大学の研究グループは、流水型(穴あき)ダムの設置による「カスケード方式」の新しい治水技術を開発しました。これは、複数の小規模流水型ダム(河道内遊水池)を直列に組み合わせるといったものです。シミュレーションの結果、山間部の上流側のダムで非常用洪水吐きからの越流を許容することによって(カスケード方式)、より重要となる下流側の洪水制御能力が強化されることを明らかにしました(右の図)。この流水型ダムは、降雨強度・量の増大により様相が変化した水・土砂災害にほぼ対応できるとのことです。今後、筑後川を対象とした具体的な検討を開始し、効果が期待されています。

(出典5より)



#### カスケード方式による洪水制御能力

従来型に比べてカスケード式は、下流側ダムの最大流量を22%削減できることが分かる。