

# 気候変動に伴う 極端気象に強い都市創り (TOMACS)

## Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS)

〈気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システム改革プログラム〉  
(独) 科学技術振興機構・文部科学省

“Social System Reformation Program for Adaption to Climate Change”  
Strategic Funds for the Promotion of Science and Technology (JST/MEXT)



**連絡先:**

独立行政法人 防災科学研究所  
観測・予測研究領域  
水・土砂防災研究ユニット

〒305-0006 つくば市天王台 3-1  
<http://www.bosai.go.jp/>

**ウェブサイト:**

<http://www.mpsep.jp/>

**mailing address:**

Storm, Flood and Landslide Research Unit,  
Monitoring and Prediction Research Department,  
Independent Administrative Institution  
National Research Institute for Earth Science and  
Disaster Prevention

3-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-0006 Japan  
<http://www.bosai.go.jp/e/>

**website:**

<http://www.mpsep.jp/e/>



岡田義光

防災科学技術研究所理事長

Yoshimitsu Okada

President, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED)

取りまとめ機関の代表者としてご挨拶申し上げます。本プロジェクトは近年注目を集めておりますゲリラ豪雨などの極端気象現象に関しまして、理学、工学、社会科学の総力を結集して立ち向かおうとするものであります。本プロジェクトのミッションは、単に極端気象のメカニズムに切り込むサイエンスとしての側面に止まらず、実用的な監視・予測システムを開発すること、そしてそれを社会に実装することまでを目指していることに大きな特徴と意義がございます。

防災科学技術研究所では、今から7、8年前に科学技術振興費によりまして、高度即時的地震情報伝達の実用化プロジェクトという事業を担当した実績があります。これは当時、経済活性化のために国が始めましたリーディングプロジェクトの一環と位置づけられまして、文部科学省の委託を受けて平成15年度より5カ年の計画で実施したものです。参加機関は、防災科学技術研究所と気象庁、NPO法人リアルタイム地震情報利用協議会、そして日本気象協会でございます。このプロジェクトは、当時防災科学技術研究所が開発を進めておりましたリアルタイム地震情報と、気象庁が進めていたナウキャスト地震情報を統合しまして、新たに緊急地震速報と呼ばれるようになりましたシステムを開発したものです。プロジェクトを開始して4年目の8月から特定の事業者に向けて限定的な試験配信を開始し、最終年度の平成19年10月からは、テレビやラジオを通じまして広く一般に向けた緊急地震速報を配信できるに至りました。ごく短い期間で研究開発の成果が実用的なレベルにまで到達して、現実に社会への情報発信が始められたと言うことは、数あるリーディングプロジェクトの中でも大成功の部類に属するものであったと自負いたしております。この極端気象プロジェクトに関しまして、緊急地震速報の気象版のような形で実用的な成果にまでこぎつけて、大きな社会貢献が実現されるようになることを強く希望いたしております。

We thank you for your interest in the “Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS)” project, which is detailed herein. I would like to give you all a word of greeting as a representative of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), which is responsible for achieving this research project mission. The aim of the project is to challenge extreme weather phenomena, such as torrential rainfall in urban areas, with a team consisting of scientists, engineers, and sociologist, to mitigate urban disasters. The tasks of the present project are not only to understand the mechanisms of extreme weather but also to develop a practical monitoring and prediction system for extreme weather, and to implement the system in society through social experiments, which is one of the unique features of the present research project.

During the period 2003-2007, NIED was in charge of the “Research Project for the Practical Use of Real-time Earthquake Information Network”, which was one of the leading projects funded by Japan Science and Technology Agency(JST)/Ministry of Education,Culture,Sports,Science & Technology(MEXT) to revitalize the Japanese economy. The participating organizations were NIED, the Japan Meteorological Agency (JMA), the nonprofit organization “Real-time Earthquake Information Consortium”, and the Japan Weather Association (JWA). The project developed a new earthquake early warning system, which was integrated with the NIED real-time earthquake information system and the JMA earthquake nowcasting system. The project succeeded in starting the service of delivering earthquake information to limited end-users from August 2006, and to citizens via TV and radio from September 2007. We are proud of what we have accomplished in such a short period of time, and believe that the project was a great success. As for the present extreme weather phenomena research project, my desire is for it to achieve its mission and to make a great contribution to society.

科学技術戦略推進費（科学技術振興機構 / 文部科学省）  
「気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革プログラム」

Strategic Funds for the Promotion of Science and Technology (JST/MEXT)  
“Social System Reformation Program for Adaption to Climate Change”

## 気候変動に伴う極端気象に強い都市創り

### Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS)

#### 要約 - Outline -

#### はじめに

「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」は科学技術戦略推進費（科学技術振興機構 / 文部科学省）の研究プログラム「気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革プログラム」の一つです。ここでは研究プロジェクトの背景、使命、研究テーマ、研究体制について説明しています。なお、研究プロジェクトの略称名として TOMACS (Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities) を用いることがあります。日本語プロジェクト名称「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」を直訳したものではありませんが、研究内容をより具体的に表現しています。

#### 使命

理学・工学・社会学の研究者で構成される研究チームにより、首都圏に稠密気象観測網を構築して極端気象の発生プロセス、メカニズムを解明し、現象を早期に検知しエンドユーザーに伝達する「極端気象監視・予測システム」を開発し、関係府省・地方公共団体・民間企業・住民との連携のもとで社会実験をおこないます。開発したシステムは他の都市域へも適用できることを示すとともに社会実験から提起される諸問題を議論し、関係府省や地方公共団体への提言としてまとめることにより社会の変革を図ります。

#### 研究テーマ

このプロジェクトは次の3つの研究テーマから構成されています。

- 研究テーマ1： 稠密気象観測による極端気象のメカニズム解明
- 研究テーマ2： 極端気象の監視・予測システムの開発
- 研究テーマ3： 極端気象に強い都市創り社会実験

#### 研究体制

このプロジェクトには計25を越える研究機関、大学、地方公共団体、民間企業と100人を越える研究者・実務者が参加しています。防災科学技術研究所が代表機関として全体をとりまとめます。研究テーマ1、研究テーマ2、研究テーマ3の責任機関はそれぞれ気象研究所、防災科学技術研究所、東洋大学です。各機関および参加者間の連携をはかるために、運営委員会、連絡協議会、ワーキンググループを設けて定期的に議論するほか、ホームページを通じての情報共有や研究会を開催しています。

#### Introduction

“Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS)” is one of the research projects of the “Social System Reformation Program for Adaption to Climate Change” under the “Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology” of MEXT. The background, mission, research topics, and organization of TOMACS are described herein.

#### Mission Statement

The present research project aims to understand the processes and mechanisms of extreme weather, using dense meteorological observation networks designed in the Tokyo Metropolitan Area, to develop an extreme phenomena monitoring and prediction system, and to implement social experiments on extreme weather resilient cities in collaboration with related government institutions, local governments, private companies, and residents.

#### Research Themes

The project consists of the following three research themes:

- Theme 1: Studies on extreme weather with dense meteorological observations
- Theme 2: Development of the extreme weather early detection and prediction system
- Theme 3: Social experiments on extreme weather resilient cities

#### Organization

More than 25 organizations and over 100 people participate in the present research projects. NIED is the representative research institute. Meteorological Research Institute(MRI), NIED, and Toyo University are responsible for research themes 1, 2, and 3, respectively. Liaison council, steering committee, and working groups are set up in the project to discuss the research plans and research results of each topic, and to share information so as to achieve the project purpose efficiently and in a coordinated manner.

# TOMACS とは? — 背景と使命 —

## What is TOMACS? – Background and Mission

### 背景

科学技術戦略推進費（科学技術振興機構 / 文部科学省）は、「気候変動に対応した新たな社会を創出するための社会システム改革プログラム」を開始しました。このプログラムでは、温室効果ガスを削減すると同時に、削減だけでは避けられない温暖化の影響に適応するため、気候変動の適応策や緩和策の基礎となる要素技術を開発し実証実験を通じて社会システムの改革を目指します。このパンフレットは、2010年度に採択された4課題のうち、「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」（代表研究機関：独立行政法人防災科学技術研究所）の概要と研究内容を紹介しています。

### 使命

高度に発達した交通網や通信網を有し、数百万以上の人々が生活する大都市には、台風、集中豪雨、落雷、突風などの激しい気象擾乱に対する脆弱性が内在しています。今後の気候変動に伴って懸念される局地的大雨（いわゆる「ゲリラ豪雨」）の多発化や巨大台風の発生は都市型災害の被害を甚大化する可能性が高く、局地的大雨・強風などの極端気象\*の監視・予測技術の確立は急務です。本研究では理学・工学・社会学の研究者で構成される研究チームにより、首都圏に稠密気象観測網を構築して極端気象の発生プロセス、メカニズムを解明し、現象を早期に検知しエンドユーザーに伝達する「極端気象監視・予測システム」を開発し、関係府省・地方公共団体・民間企業・住民との連携のもとで社会実験をおこないます。開発したシステムは他の都市域へも適用できることを示すとともに社会実験から提起される諸問題を議論し、関係府省や地方公共団体への提言としてまとめることにより社会の変革を図ります。

\* 極端現象：特定地域において、統計的な分布範囲からみてもまれな現象。

### Background

In 2010, JST launched a new program named “Social System Reformation Program for Adaption to Climate Change” under the “Strategic Funds for the Promotion of Science and Technology”\* of MEXT. The program aims to develop the elementary technologies which are required for not only the reduction of greenhouse gases, but also the adaptation of new societies to future global warming impacts that cannot be avoided by such reductions. This brochure describes the research project “Tokyo Metropolitan Area Convection Study for Extreme Weather Resilient Cities (TOMACS)” which is one of four research projects adopted by the JST.

\* Previously, “Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology”

### Mission

It is recognized that large cities with populations of several million people are inherently vulnerable to severe weather, such as torrential rainfall, lightning, and tornados. An increase in the occurrence of torrential rainfall and giant typhoons, which may be due to global warming, can cause extensive damages to large cities. Thus, the development of extreme weather early detection and prediction system is urgent. The present research project aims to understand the processes and mechanisms of extreme weather, using dense meteorological observation networks designed in the Tokyo Metropolitan Area, to develop a monitoring and prediction system of extreme phenomena (MPSEP), and to implement social experiments on extreme weather resilient cities in collaboration with related government institutions, local governments, private companies, and residents.

首都圏において局地的大雨や洪水を引き起こす深い対流に目標を定める  
沿岸環境に位置する東京首都圏では、温暖な季節になると様々な型の深い対流が発生します。

**Targeting deep convections causing local heavy rainfall and flash flooding in urban areas.**  
Many types of deep convection are generated in the warm season in the Tokyo Metropolitan Area, which is located in a coastal environment.



# TOMACS とは? — 研究テーマ —

## What is TOMACS? – Research Themes

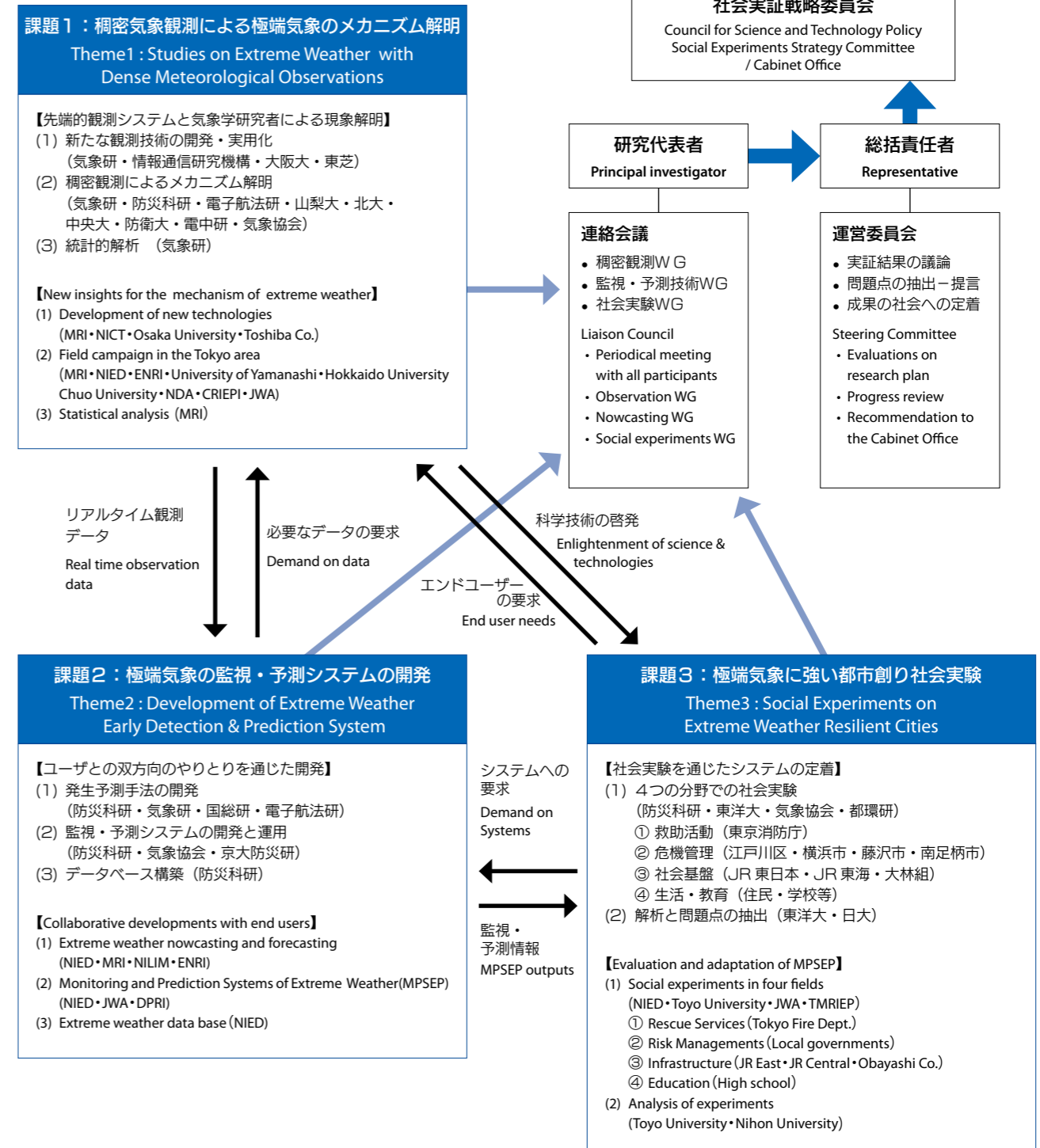
### 研究テーマ

TOMACS は次の3つの研究テーマ「稠密気象観測による極端気象のメカニズム解明」、「極端気象の監視・予測システムの開発」、「極端気象に強い都市創り社会実験」から成り立っています。

### Research Themes

TOMACS consists of three research themes: “Studies on extreme weather with dense meteorological observations”, “Development of extreme weather early detection and prediction system”, and “Social experiments on extreme weather resilient cities”.

### プロジェクト構成 Project Structure



参加者

本研究プロジェクトには計 25 を越す機関と 100 名を越す研究者および地方公共団体等の防災担当者が参加しています。防災科学技術研究所が中核機関として全体を統括します。研究テーマ1 は気象庁気象研究所が責任機関となり、計 12 の研究機関や大学が参画し、極端気象の稠密観測を実施してその実態を解明します。研究テーマ2 は防災科学技術研究所が責任機関となり、計 10 機関が参画し、「極端気象早期検知・予測システム」を開発します。研究テーマ3 は東洋大学が責任機関となり、計 11 の大学、研究機関、地方公共団体、民間企業が参画し社会実験をおこないます。各研究テーマは互いに関連しているため機関の中には複数の研究テーマに参加しているところもあります。

運営委員会

研究テーマの進捗状況を把握し、研究成果を社会改革に結びつけるために総括責任者である防災科研理事長の下に運営委員会を設けています。運営委員会はプロジェクト外部の様々な専門家により構成され、プロジェクト全体の円滑な運営を図るために、極端気象の観測研究の立案と遂行、極端気象の早期検知 / 予測システムの開発、社会実験の実施などに関する助言をおこないます。また、社会実験の結果を議論し内閣府社会実証戦略委員会に対して極端気象に強い都市創りに向けた提言をまとめます。

連絡協議会とワーキンググループ

研究機関および参加者が多岐・多数にわたっていることから、各参画機関が有機的に連携して調査研究し、より効率よく成果を生み出すため、研究代表者の下に連絡協議会を設置しています。連絡協議会は各参画機関の代表者により構成され、各研究テーマにおける研究計画と研究成果について議論し情報を共有します。各研究テーマの具体的な研究内容や技術的問題点は稠密観測ワーキンググループ、早期検知・予測ワーキンググループ、社会実験ワーキンググループの3つのワーキンググループで議論し解決していきます。

Participants

A total of 25 organizations and over 100 people participate in the present research projects, which consists of three research themes: 1) Studies on extreme weather with dense meteorological observations, 2) Development of extreme weather early detection and prediction system, and 3) Social experiments on extreme weather resilient cities.

NIED acts as the core research organization for the whole project, with responsibility for its planning and accomplishment. MRI is responsible for the first research theme, in which a total of 12 research institutes and universities are involved. NIED is responsible for the second research theme, involving a total of 10 research institutes and universities. Toyo University is responsible for the third research theme, where a total of 11 research institutes, universities, and national and local government organizations participate.

Steering Committee

The steering committee for the project is set up under the president of NIED. The committee, which consists of prominent figures in various fields related to the present project, advises participants on the planning and accomplishment of observational and numerical studies of extreme weather, development of the early detection and prediction system, and the execution of social experiments. The committee also discusses the results of social experiments and summarize a proposal for the establishment of extreme weather resilient cities, which proposal will be submitted to the Social Experiments Strategy Committee of the Cabinet Office.

Liaison Council & Working Group

Because the project covers many different fields, such as remote sensing, meteorology, hydrology, and sociology, and involves a large number of participants, the liaison council is setup under the principal investigator of the project. The council, which consists of delegates of each participating organization, discusses the research plans and research results of each topic, and share information so as to achieve the project purpose efficiently and in a coordinated manner. The relevant working groups for dense meteorological observations, extreme weather early detection and prediction, and social experiments hold discussions on each research topic, and create appropriate and detailed research plans.

使命と参加機関

Mission and Participants

使命

首都圏を対象に、最新の観測システムと既存観測システムを結集した稠密気象観測により多数の積乱雲を観測します。これらのデータを用いて、環境場、積乱雲の発生要因、発生・発達・衰弱までのプロセスを理解した上で、データ解析、数値モデル再現実験等により災害をもたらす積乱雲、及び災害をもたらさない積乱雲の発生・発達・衰弱メカニズムを解明するとともに、研究テーマ2で使用するデータセットを作成します。

参加機関

気象研究所がコア研究機関としてこの研究テーマの使命を遂行します。観測には、X-NET グループ（防災科学技術研究所、中央大学、防衛大学校、山梨大学、電力中央研究所、日本気象協会）、東芝、北海道大学、情報通信研究機構、大阪大学が参加しています。

Mission

To understand the initiation, development, and dissipation processes of convective precipitation, and to clarify the mechanism of localized heavy rainfall, which are potential causes of natural disasters such as flooding and landslides, a variety of cumulus activities are studied by dense research and operational meteorological observation networks in the Tokyo Metropolitan Area, numerical experiments, and statistical analysis of environmental conditions preferable for extreme weather.

Participants

MRI is the core research institute to accomplish the research mission. The following organizations are participating in this research theme: X-NET group (NIED, Chuo University, National Defense Academy (NDA), University of Yamanashi, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), JWA), Toshiba Corporation, Hokkaido University, National Institute of Information and Communications Technology (NICT), and Osaka University.

TOMACS の概要

2011年～2013年の夏期に気象研究所、防災科学技術研究所などの研究機関が参加して首都圏で深い対流の密な気象観測がおこなわれます。

Outline of TOMACS

TOMACS, in the summers of 2011 to 2013, with a dense observation network from MRI, NIED, and other groups as a test-bed for deep convection.



稠密気象観測

Dense Meteorological Observations

気象観測機器

2011年～2013年の夏期に研究用の観測機器と現業の観測機器を用いたフィールドキャンペーンが首都圏でおこなわれます。観測には気象研究所などの研究機関が参加し、対流圏の環境場、境界層、積乱雲の初期の発達過程と一生を明らかにします。大都市での深い対流の密な気象観測網はユニークであり、世界的なテストベッドとして着目されています。

Meteorological Instruments

The field campaign in the Tokyo Metropolitan Area, using research instruments and operational meteorological networks is planned by MRI and other groups in the summers of 2011-2013 to target the tropospheric environment, boundary layer, initiation of convections and lifecycle of thunderstorms. The dense meteorological observations in the Tokyo Metropolitan Area is being considered as an international test-bed for deep convection study.

TOMACS で用いられる気象観測機器  
Meteorological Facilities used in TOMACS

目標 Target	気象パラメータ Meteorological Parameter	観測機器 Instrument	
		研究 Research	現業 Operational
環境場 Environment	[対流層] 温度、湿度、風 [Troposphere] Temperature, Water Vapor, Wind	ラジオゾンデ マイクロ波放射計 Radiosonde Microwave Radiometers	ラジオゾンデ GPS ネットワーク (GEONET) UHF ウィンドプロファイラ Radiosonde / GPS Network (GEONET) / UHF Wind Profilers
	[大気境界層] 温度、湿度、風 [Boundary Layer] Temperature, Water Vapor, Wind	UAV (無人飛行機) ドップラーライダー UAV, Doppler Lidar	ラジオゾンデ / UHF ウィンドプロファイラ / アメダス Radiosonde, UHF Wind Profilers, AMeDAS
	[地上] 温度、風、降雨、露点温度、気圧 [Surface] Temperature, Wind, Rain, Td, Pressure	稠密地上気象観測ネットワーク High spatiotemporal surface meteorological network	アメダス AEROS AMeDAS, AEROS
	[無降雨] 積雲 (可視画像・赤外画像) [Non-Precipitation] Cumulus (VIS, IR)	ウェブカメラ Web Cameras	気象庁 MTSAT (ラピッドスキャンイメージャー) JMA MTSAT (Rapid Scan Imager)
積乱雲 Thunderstorms	[3次元、大気境界層] 降水分布 [3D, High Spatiotemporal] Precipitation Distribution	ku-バンド高速スキャンレーダ Ku-band Fast Scan Radar	—
	[3次元] 降雨と風速 / 偏波パラメータ [3D Field] Precipitation and Wind Polarimetric Parameters	X-NET (Xバンド偏波レーダ) C-バンド偏波レーダ X-NET (X-band Polarimetric) C-band Polarimetric Radar	国交省 X-バンドMPレーダ 気象庁 C-バンドドップラーレーダ MLIT X-band Polarimetric Radar JMA C-band Doppler Radar
	[鉛直プロファイル] 雨滴粒径分布 (Vertical Profile) Drop Size Distribution	マイクロレインレーダ Micro Rain Radar	—
	[地上] 雨滴粒径分布、降水量 (Surface) Drop Size Dist., Rainfall Amount	ディストロメータ(2DVD・光学) AWS Disdrometer (2DVD, Optical) AWS	雨量計ネットワーク (アメダス、国交省、地方自治体) Rainguage Networks (AMeDAS, MLIT, Local Government)
	雷 Lightning	—	気象庁 LIDEN JMA LIDEN

環境場の観測

Environmental Observations

ラジオゾンデとウィンドプロファイラ

局地的大雨の発生する環境場を捉えるために首都圏のいくつかの場所でラジオゾンデ観測をおこないます。高度に都市化された場所でのゾンデ観測はリスクを伴います。このため、放球にあたっては事前にシミュレーションを行うことによりゾンデの軌跡を計算して安全を確認しています。気象庁はUHF ウィンドプロファイラにより10分間隔で高層風の観測をおこなっており、本プロジェクトでもそのデータを利用します。

Radio Sonde & Wind Profiler

Radio sonde soundings are carried out at several sites in the Tokyo Metropolitan Area to capture the atmospheric environment for heavy rainfall. Because the observations are planned in a highly urbanized area, risk assessment utilizing sonde trajectory simulation are required before sonde launch. UHF wind profilers are operated by JMA to measure wind profiles every 10 minutes.

GPS ネットワーク

対流の主要な源である水蒸気に関する情報を得るためにGPSネットワークが用いられます。気象庁は可降水量を求めるために国土地理院のGPS地球観測ネットワーク(GEONET)のデータ解析を業務としておこなっています。得られた可降水量はメソスケール数値モデルのデータ同化に用いられます。TOMACSでは新たに5台のGPSを首都圏に設置して空間解像度をあげています。

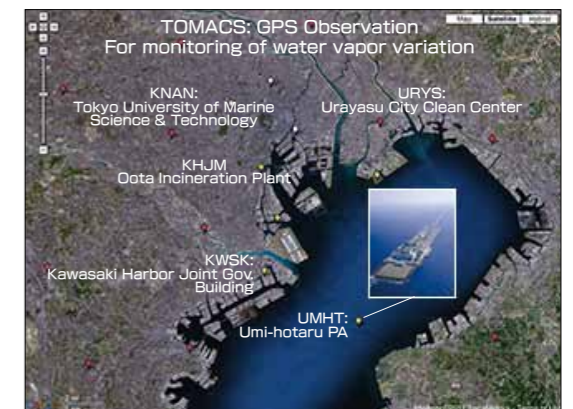
GPS Network

GPS Meteorology is fully adapted for the experiment to obtain information on atmospheric water vapor, which is a primary source of convections. JMA has operated the GPS analysis to obtain measurements of precipitable water vapor (PWV) and has assimilated GPS derived PWV to the mesoscale model using the GPS earth observation network (GEONET) of the Geospatial Information Authority of Japan(GSI). In the experiment, to increase the resolution of GPS, 5 receiver sets have been installed in the eastern area of the Tokyo Metropolitan Area.

TOMACSにおけるラジオゾンデ観測  
Radio sonde observations in TOMACS



GPS ネットワーク  
GPS Network



- 新規5 GPS 点を設置
  - 海ほたるをのぞく4地点で毎時オンライン収集
  - 海ほたるでは太陽電池パネルによる自主電源観測
  - Five new GPS sites are installed in addition to GEONET
  - Online data acquisition at four stations except for UMHT
  - Solar-powered energy supply at UMHT
- TOMACS GPS
  - GSI GEONET
  - Other Organizations

無人飛行機 (UAV)

実験の鍵の一つは大気境界層の観測です。無人飛行機による大気観測技術を開発し、対流が始まる前の環境場の測定を首都圏においておこないます。地表面からの顕熱/潜熱フラックスと大気境界層の高さ、積雲の形成の関係はシンチロメータ、ラジオゾンデ、気温プロファイラ、ウィンドプロファイラ、ラピッドスキャン衛星画像等の解析を通じて研究します。都市が大気境界層に及ぼす影響は数値モデルを用いて明らかにします。

Unmanned Air Vehicle (UAV)

One of the keys to the experiment is measurement of the atmospheric boundary layer. The relationship between sensible/latent heat flux from the surface and the height of the boundary layer and initiation of cumulus clouds is studied using scintillometer, radio sonde soundings, temperature profilers, wind profilers and rapid-scan satellite images. Numerical models, which can simulate the effect of urban areas on the atmospheric boundary structure, are also used. Observations with an UAV are planned in selected areas in the Tokyo Metropolitan Area to measure environmental conditions prior to convection initiation.

Use of UAV for atmospheric observation



**地上自動気象観測ネットワーク (AWS)**

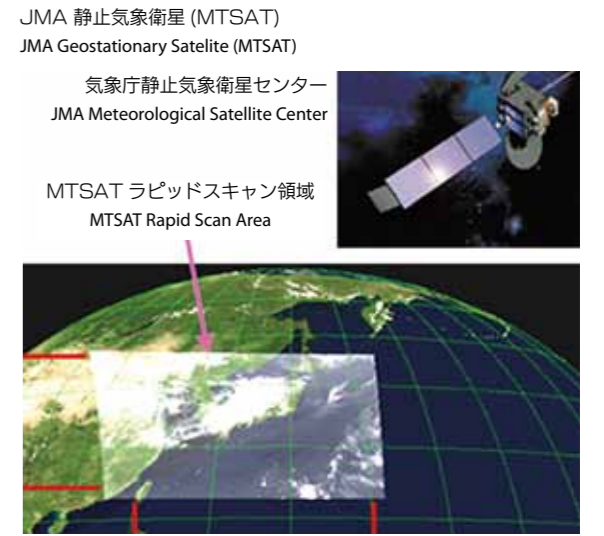
地上気象の詳細な時空間変動をとらえるために自動気象観測ネットワーク (AWS) をレーダ観測範囲の西側に設置します。風向・風速は1秒間隔で、気温・湿度・気圧は10秒間隔で測定します。6カ所のAWSサイトには光学式ディストロメータを設置して10秒間隔で雨滴粒径分布と降雨強度を測定します。これらの地上観測データは極端気象の詳細な構造やレーダのQPEやQPFのアルゴリズムの検証に利用します。

**Dense AWS Network**

A network of twelve Automated Weather Stations (AWS), with high spatiotemporal resolution, was set up in the western part of radar observation area. The observation intervals are 1 second for wind direction and wind speed, and 10 seconds for temperature, humidity, and pressure. Six laser-based optical disdrometers were mounted on each six stations to measure drop size distribution and rainfall intensity during the interval of 10 seconds. These surface data are used to study a detailed structure of extreme weather and to validate radar QPE and QPF algorithms.

**静止気象衛星 (MTSAT)**

気象庁の静止気象衛星 (MTSAT) のラピッドスキャンでは5分毎に画像データが得られます。このデータは積乱雲の初期の形成を調べるのに有益な情報です。MTSAT から得られる対流雲の情報と GEONET から得られる可降水量の情報を用いて対流の始まりとその後の発達過程を研究します。気象庁によるラピッドスキャンの試験観測は2010年の夏に開始されました。2011年の夏からは5分毎に可視画像と赤外画像が提供されています。ラピッドスキャン画像は対流雲の初期の急発達の過程を明らかにするものとして期待されています。



**Geostationary Satellite (MTSAT)**

Rapid scans from the JMA Geostationary Satellite MTSAT, performed every 5 minutes, are used to provide useful information on the initiation of thunderstorms. The convective cloud information observed by MTSAT, and information on precipitable water distribution given by GEONET, will be used to study the initiation of convections and the ensuing processes that develop. Test operations of JMA Geostationary Satellite (MTSAT; Himawari) rapid scans began in the summer of 2010. Since the summer of 2011, visible and IR images have been provided to the experiment every 5 minutes. The rapid scan images are expected to elucidate rapid changes in convection initiation.

**Ku バンドレーダ**

Ku バンド FM チャープ MP レーダは大阪大学と住友電工により開発されたレーダです。このレーダの大きな特徴はラピッドスキャンが可能なこと。反射強度、ドップラー速度、偏波レーダパラメータの3次元分布を1~2分間で測定することができます。空間分解能は約10mです。このレーダにより、積乱雲の詳細な構造と発達過程が明らかになると期待されています。

**Ku-band Radar**

A Ku-band FM-Chirp fast scan MP radar, which was developed by Osaka University and Sumitomo Electric Industries, is used in the field experiment. This radar makes full volume scans each 1 to 2 minutes, and observes reflectivity, Doppler velocity and polarimetric parameters at approximately 10 m-intervals. It is expected that thunderstorm structure will be illustrated in very high temporal-spatial resolutions.

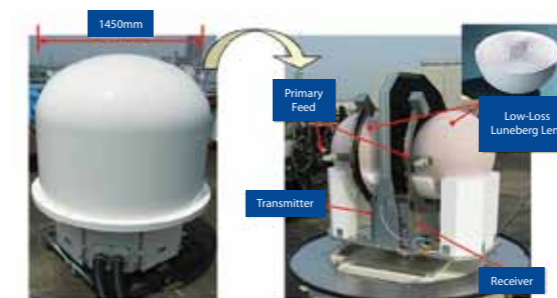
**レーダネットワーク**

首都圏には多くの研究用レーダと現業レーダが設置されています。防災科学技術研究所、中央大学、防衛大学校、日本気象協会、山梨大学、電力中央研究所の研究用 X バンドレーダをネットワークで結んだ X-NET と名付けられたレーダネットワーク、気象研究所 C バンド偏波レーダ、国土交通省の現業用 X バンド MP レーダ、気象庁の現業用 C バンドドップラーレーダなどです。

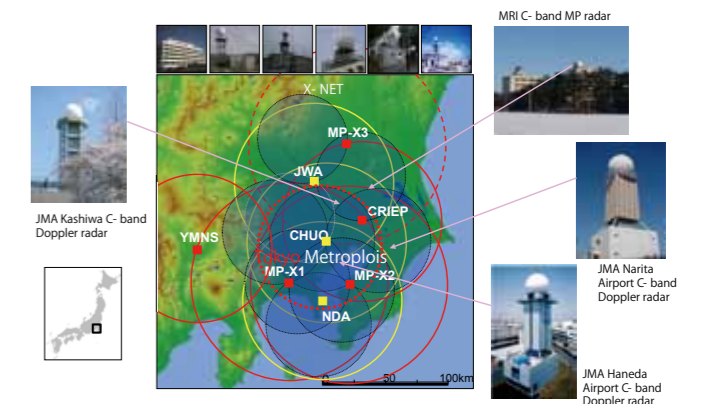
**Radar Network**

Research radars and operational radars are concentrated in the Tokyo Metropolitan Area: X-NET (5 X-band polarimetric radars and 3 Doppler radars), two Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) X-band polarimetric radars, an MRI C-band polarimetric radar and three JMA C-band operational Doppler radars.

Ku バンドのラピッドスキャンレーダ  
Ku-band rapid scan radar



研究用および現業用レーダネットワーク  
Research and operational radar network



**積乱雲の観測**

**Thunderstorm Observations**

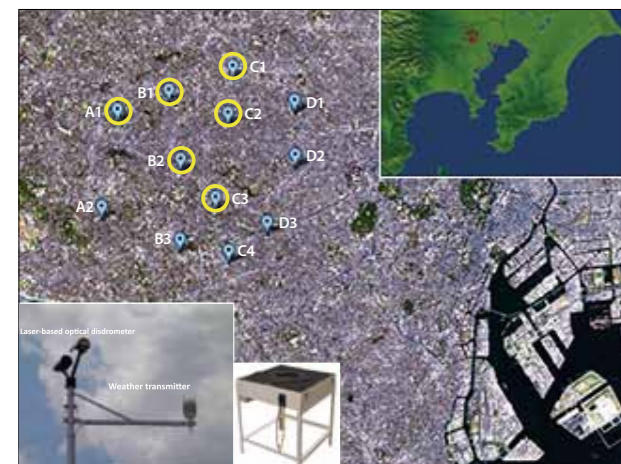
**ドップラーライダー**

本プロジェクトのユニークな点の一つは様々なりモートセンシング機器を用いて対流の初期の検出と雷雨の発生から消滅までの一連の過程を観測することです。プロジェクトでは対流が発生する前の海風前線の振る舞いと大気境界層の気流構造を調べるために計4台のドップラーライダーが用いられます。2台は研究用ドップラーライダー (情報通信研究機構、北海道大学) で2台は成田空港と羽田空港の現業用ドップラーライダー (気象庁) です。

**Doppler Lidar**

One of the unique features of the experiments is that a variety of advanced remote sensing techniques are employed to detect the initiation of convections and to observe the complete lifecycle of thunderstorms. In the experiment, two research Doppler lidars (NICT and Hokkaido University), as well as two operational Doppler lidars (JMA) at Narita and Haneda airports, are operated to make observations of the behavior of sea breeze fronts and air flow in the atmospheric boundary layer prior to initiation of convection.

地上観測稠密ネットワーク  
Dense AWS network



Legend: Weather Transmitter WXT520 - x 12 ((Surface weather data) ● Laser-based optical disdrometer - x 6 (DSD, Rain fall intensity) ○

ドップラーライダーの外観  
Doppler lidar



使命と参加機関

Mission and Participants

使命

稠密観測から得られるデータをリアルタイムで処理し、極端気象を早期に検出・予測する技術を開発するとともに、極端気象による災害が発生する直前に、市区町村内の地区スケールで、緊急に防災情報を伝達する「極端気象早期検知・予測システム」を開発し、社会実験区で運用します。また過去に発生した類似の災害を検索し、事前の防災対策の参考となる情報を提供する極端気象データベースを構築します。

参加機関

防災科学技術研究所がコア研究機関としてこの研究テーマの使命を遂行します。開発にあたって、気象研究所、国土技術政策総合研究所、京都大学、電力中央研究所、日本気象協会、電子航法研究所、気象庁が参加しています。

Mission

The aim of the second research theme is to establish a "Monitoring and Prediction System of Extreme Phenomena" which can process real-time data from dense meteorological observation networks and predict localized heavy rainfalls and strong winds. Information from the MPSEP will be utilized in the social experiments described in the third theme. The research theme also aims to establish an extreme weather database, which will be useful for planning disaster countermeasures.

Participants

NIED is the core research institute for the accomplishment of the research mission. The following organizations are participating in this research theme: MRI, National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM), Kyoto University, CRIEPI, JWA, Electronic Navigation Research Institute (ENRI), and JMA.

テストベッドと X-NET

Test-Bed and X-NET

テストベッド

X-NET が設定しているテストベッドエリアは東京都庁を中心にして半径 50km のエリアです。便宜上、このエリアを東京首都圏と呼ぶことにします。このエリアの中には東京 23 区 (人口 850 万)、横浜 (360 万)、川崎 (130 万) などのいわゆるメガシティ 5 都市が含まれています。圏内の全人口は約 3000 万人で、カナダの総人口に匹敵します。毎朝の通勤・通学で交通機関を利用している人は約 1000 万という、世界でも特異な人口密集地帯です。

X-NET

X-NET を構成するレーダは、防災科学技術研究所の 3 台の MP レーダ、2009 年に新たに製作された、電力中央研究所と山梨大学の各 MP レーダ、中央大学、防衛大学校、日本気象協会の各ドップラーレーダの計 8 台です。X-NET の各レーダの配置と観測範囲を図に示します。X-NET により、ほぼ 200km 四方の領域が観測範囲です。この観測範囲内には東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県の全域と茨城県、静岡県、山梨県、栃木県、群馬県の一部が含まれます。全てのレーダはドップラー機能を有しており、複数台のドップラーレーダの解析から風向風速分布を求めることができます。その領域は図の内側の円弧内の領域です。アンテナのスキャンモードは 5 分毎のボリュームスキャンを基本としますが、各研究機関独自の観測モードでのスキャンで観測することもあります。空間分解能は、レンジ方向が 100m ~ 200m、方位角方向が 1.3° 前後です。

Test Bed

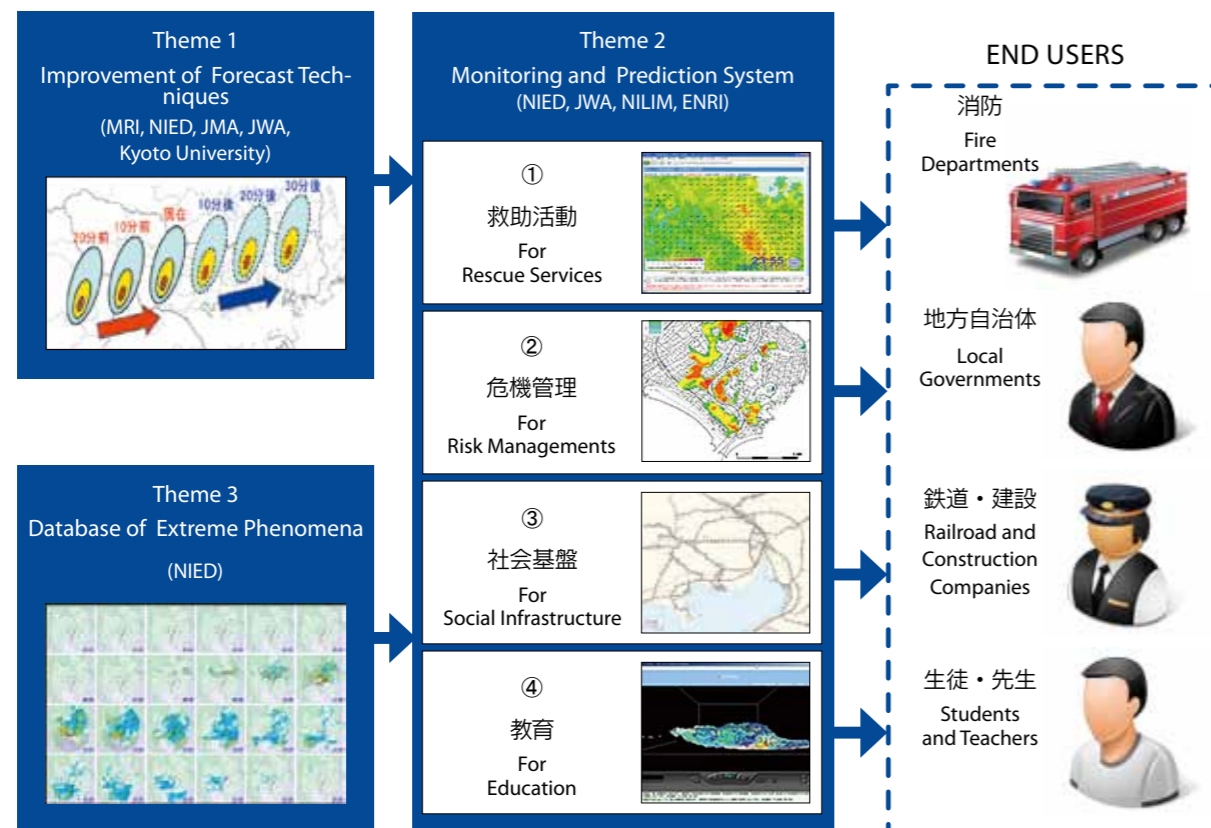
The project test-bed is the Tokyo Metropolitan Area, which is defined in the present study as the 50km area surrounding the headquarters of the Tokyo Metropolitan Government. The Tokyo Metropolitan Area is the world's most populous metropolitan area: the total population in these cities is approximately 30 million, which corresponds to the entire population of Canada. About 10 million people use some kind of public transportation every morning to commute to their schools and offices. The area contains most of Tokyo, Kanagawa, and Saitama prefectures and a part of Chiba prefecture. Five mega-cities are within the area; the 23 wards of Tokyo (8.5 million), Yokohama City (3.6 million), Kawasaki City (1.3 million), Saitama City (1.2 million), and Chiba City (0.9 million). The networked radar setup in the Tokyo Metropolitan Area is one of the unique features of the present study.

X-NET

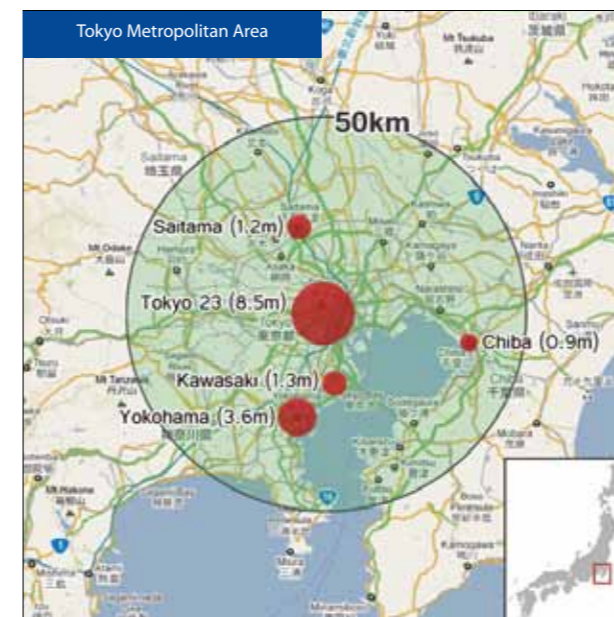
X-NET is an advanced X-band research radar network that has been implemented by NIED and several universities and research institutes to mitigate urban disasters caused by severe storms. The figure shows the locations of the research radars which compose the X-NET; the network consists of three NIED polarimetric radars, a Chuo University Doppler radar, an NDA Doppler radar, and a JWA Doppler radar. All the research radars are X-band wavelength. The EBN radar in Kanagawa has been in operation since 2003. All data from the connected radars are sent to NIED in Tsukuba via an optical communications system. The NIED MKA polarimetric radar in Tochigi, first set up from June to October, 2009, is transportable. The CRIEPI and University of Yamanashi X-band polarimetric radars have been incorporated into X-NET since 2011. The X-NET observation area is approximately 200x200 km. The basic antenna scan mode is volume scan, with a 5-minute repetition time. Horizontal resolution, which is dependent on the characteristics of the individual radar system, is 100-200 m in range direction and about 1.3° in azimuth angle.

研究テーマの概要

Outline of Research Theme



テストベッド。数値は人口 (単位: 百万人)  
Test bed. Numbers show population in millions



X-NET を構成するレーダと観測範囲  
X-NET Radars and Observation Area



X-NET プロダクト

X-NET Products

X-NET プロダクトのレベル

X-NET のレーダデータは処理レベルによりレベル0 からレベル4 に分類されます。レベル0 のデータは各レーダに特有な生データで、データの種別や収録フォーマットは各レーダシステムに依存します。レベル1 のデータはレベル0 のデータを NetCDF と呼ばれるフォーマットに変換したものです。座標系は極座標系です。レベル1 のデータにフィルタ処理、降雨減衰補正、ドップラー速度の折り返し補正が施されたデータをレベル1.5 と定義します。このレベルのデータの品質が高位レベルのデータの精度に大きく影響するために、ここでのフィルタ処理や補正方法は極めて重要です。レベル2 のデータは、レベル1.5 データから求められる気象学的変数です。データフォーマットは自己記述型 (NetCDF) ですが、座標系は緯度・経度座標系に変換されています。レベル2 のデータの例としては、雨量、風向風速、降水パラメータ (粒径分布や降水粒子のタイプなど) の2次元分布、3次元分布などが挙げられます。レベル3 のデータは、解析プロダクトとも呼ばれ、レベル1.5 やレベル2 のデータから計算されます。例えば、流域面積雨量分布 (AR)、時間積算雨量 (CR)、実効雨量 (ER)、鉛直積算雨水量 (VIL) などです。このほか降水粒子の種類 (HT) や粒径分布 (DSD) などの微物理パラメータやエコー頂高度分布、運動学的パラメータ (収束発散、渦度など)、強風域情報などもレベル3 に分類されます。レベル1 ~ 3 のデータが現況データであるのに対して、レベル4 のデータは予測情報です。外挿法に基づく降水量ノウキャスト、データ同化手法を用いた数値モデルによる短時間予測結果などがその例です。

Level of X-NET Products

X-NET data is classified from level 0 to 4 according to the level of processing managed. Level 0 data is raw radar data, which is usually recorded in the original format used by each radar manufacturer. Level 1 data is raw data after format conversion to NetCDF. Level 1.5 data refers to radar data after fundamental corrections such as attenuation correction and unfolding of Doppler velocity data. The accuracy of the correction scheme of this level has a large impact on higher level data, such as those for rainfall rate and wind speed. The data format used for levels 1 to 4 is NetCDF. Level 2 data is essentially real-time data which refers to "basic" meteorological products calculated from Level 1.5 data. Level 2 data can be classified as two dimensional or three dimensional, which are denoted as "2p" and "2v", respectively. Level 3 data are "advanced" meteorological data calculated from Level 2 or Level 1.5 data, examples being distributions of the area of rainfall (AR) within a drainage area, cumulative rainfall (CR), effective rainfall (ER), and vertically integrated liquid water content (VIL). Objectively analyzed wind field adjusted with a numerical model is also categorized into the Level 3 products. Additional examples include echo top height, kinematic parameters, and wind gust data. Level 4 data are "forecasted" products. While the X-NET products are basically retrieved from research radar data, some X-NET products depend on numerical forecasting data and operational weather information (supplemental data).

X-NET プロダクト  
X-NET Products

Data Level	Description	Format (Coordinate)	Example
Level 0	生レーダデータ / Raw radar data	System dependent (usually polar)	T, Z, V, W (for conv. radar) Z <sub>DR</sub> , ρ <sub>HV</sub> , Φ <sub>DP</sub> , K <sub>DP</sub> (for pol. radar)
Level 1	生レーダデータ / Raw radar data	NetCDF (polar)	同上 / Ditto
Level 1.5	品質管理後の生レーダデータ Raw radar data after quality control	NetCDF (geographic)	同上 / Ditto
Level 2	2p 2次元の基本気象プロダクト Two dimensional "basic" meteorol products	NetCDF (geographic)	R, M, (u, v, w)
	2v 3次元の基本気象プロダクト Three dimensional "basic" meteorol products	同上 / Ditto	同上 / Ditto
Level 3	3p 2次元の高度基本気象プロダクト Two dimensional "advanced" meteorol products	同上 / Ditto	AR, CR, ER, VIL, HT, DSD, (u, v)
	3v 3次元の高度基本気象プロダクト Three dimensional "advanced" meteorol products	同上 / Ditto	HT, DSD, (u, v, w) <sub>a</sub>
Level 4	4p 2次元の予報気象プロダクト Two dimensional "forecasted" meteorol products	同上 / Ditto	R, M, AR, CR, ER, VIL, SW
	4v 3次元の予報気象プロダクト Three dimensional "forecasted" meteorol. products	同上 / Ditto	R, M, (u, v, w)
Supplemental	CReSS 雲解像非静力学モデルの計算結果 Outputs from Cloud Resolving Storm Simulator	同上 / Ditto	気象学的パラメータ Meteorological parameters
	JMA 気象庁の天気情報 Operational weather information from JMA	同上 / Ditto	レーダ, 客観解析, MSN Radar, Objective Analysis, MSN

R: rain rate, M: rain water content, (u, v, w): wind vector, (u, v, w)<sub>a</sub>: assimilated wind vector, AR: area rainfall  
CR: cumulative rainfall, ER: effective rainfall, VIL: vertically integrated liquid water, HT: hydrometeor type  
DSD: drop size distribution, SW: strong wind area

QPE

Quantitative Precipitation Estimate (QPE)

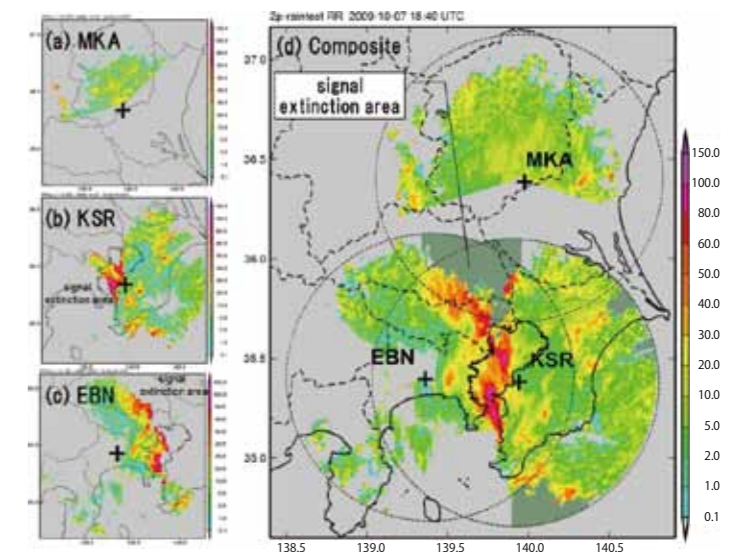
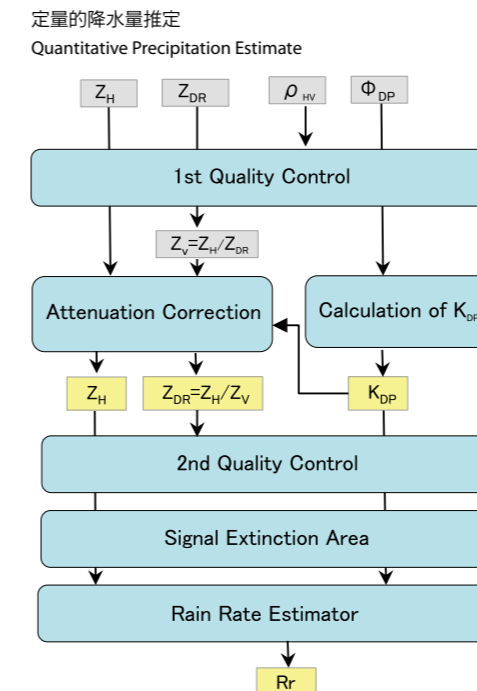
X-NET 定量的降水量推定 (QPE)

図はX-NETの定量的降水量推定(QPE)の流れ図です。データ品質管理の第一は地形エコー、異常エコー、多重散乱エコーなどの非降水エコーの除去です。反射因子 (Z<sub>H</sub>) や反射因子差 (Z<sub>DR</sub>) の減衰補正もこの段階でおこなわれます。K<sub>DP</sub> の計算はQPEの根幹となる部分です。折り返し補正、フィルターリング、偏波間位相差Φ<sub>DP</sub>のレンジ微分の計算からK<sub>DP</sub>が求められます。

Algorithm of X-NET QPE

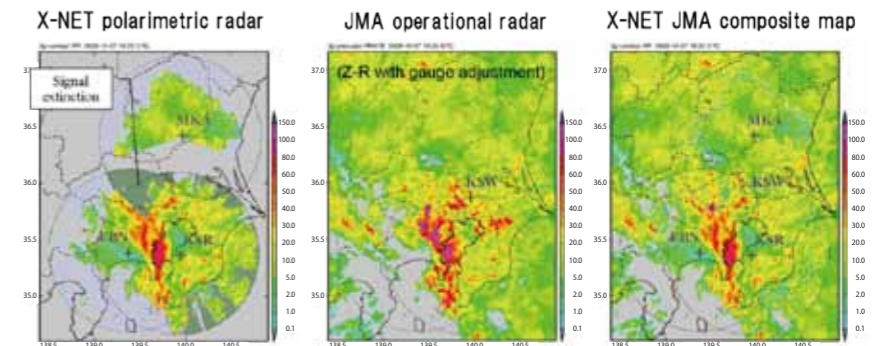
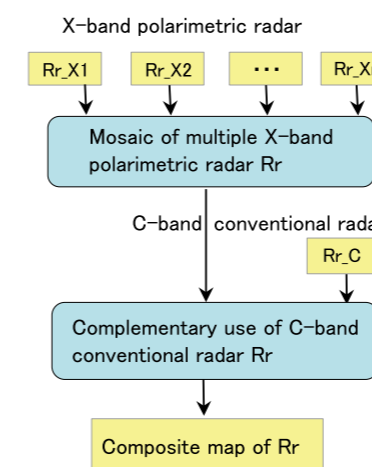
The figure below shows a flowchart of the X-NET radar QPE procedure. In the first data quality control procedure, non-precipitation echoes, such as ground clutter, anomaly echoes, and multiple scattering echoes, are removed. Corrections for topographic partial blocking of Z<sub>H</sub> and Z<sub>DR</sub> are also done at this stage. Calculation of K<sub>DP</sub> is one of the key procedures of the QPE. In this part, procedures such as unfolding, filtering, and range derivation of the differential phase shift Φ<sub>DP</sub> are done before the calculation of K<sub>DP</sub>.

X-NET の定量的降雨量推定 (QPE)  
X-NET QPE



XバンドMPレーダネットワークの合成雨量  
Composite map of X-band dual polarization radar network

合成降水量マップ  
Composite Precipitation Map



MPレーダネットワークとCバンドレーダ雨量との合成  
Composite rainfall map of X-NET and operational C-band radar rainfall



**QPF**

**Quantitative Precipitation Forecast (QPF)**

**X-NET 定量的降水量予報 (QPF)**

本研究では降雨予測を次の三種類に分類して開発をおこないます。(1) 降水の3次元分布構造に基づく降雨の早期検出、(2) 外挿法に基づく1時間先までの降水予報 (ノウキャスト)、(3) 数値モデルに基づく4時間先までの降水予報です。最後の手法では気温、気圧、風向・風速、水蒸気などの気象要素も予報されます。

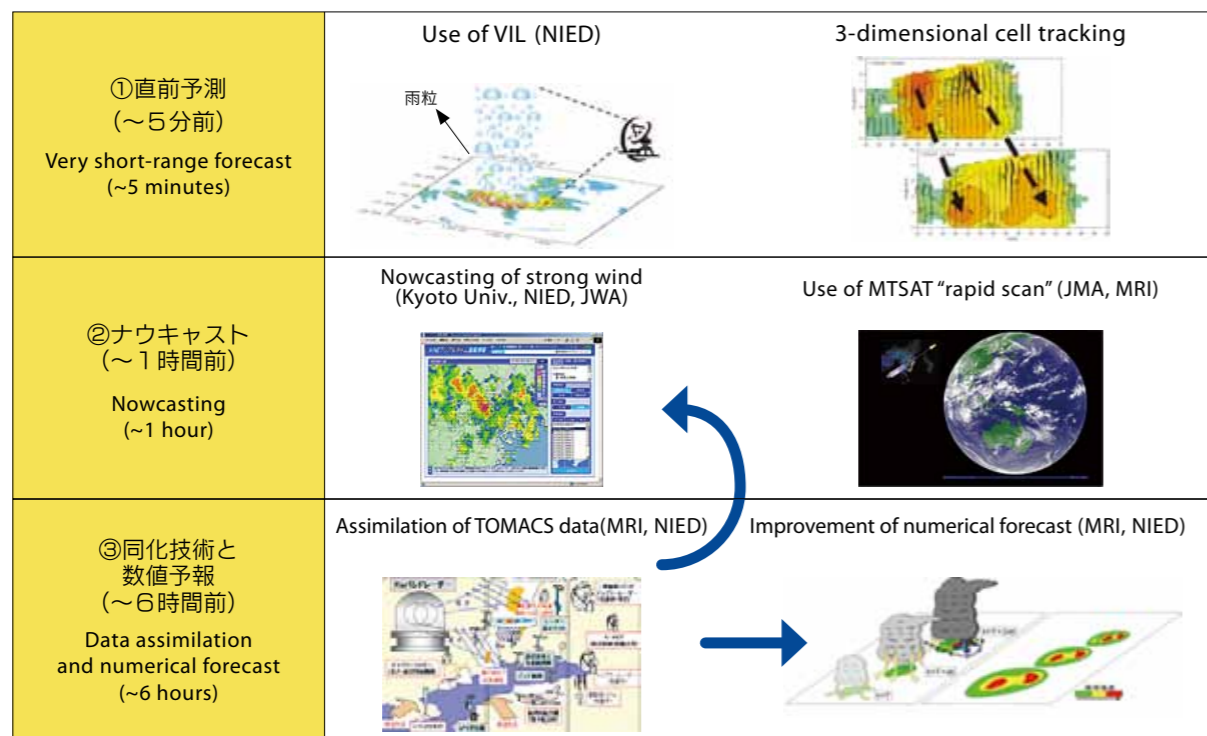
早期検知手法では上空の降水の発達の情報を用いて5分先の降水予報をおこないます。上空の降水情報としては鉛直積算雨量 (VIL) や降水コアの情報があります。

ノウキャストに用いられる外挿法では過去のレーダ画像から相関法により求められた移動ベクトルを用いて将来の降水の場所を推定します。ノウキャストの予報精度は入力降水量情報の正確さに依存します。Xバンド MP レーダの雨量情報を用いることで予報精度が向上することが確かめられています。その他の誤差要因として降水システムの定常性の仮定があります。降水の発達・衰弱時にはこの仮定が成り立たないのでノウキャストの精度は低下します。

4時間先の降水予報はデータ同化手法を組み込んだ雲解像数値モデルによりおこないます。本研究では実時間3次元同化手法を開発します。動径風とGPS可降水量を組み込んだ4時間先までのデータ同化にかかる計算時間は約15分です。予報領域は関東平野で水平解像度は水平3km、鉛直方向の38層の解像度です。

**予報モデルの分類**

**Classification of Forecasting Methods**



**Three types of QPF**

Three types of forecasting method are employed; early detection of precipitation based on three-dimensional precipitation structure, 1-hour precipitation forecasts (nowcasting) based on the extrapolation method, and 4-hour forecasts based on a numerical model. The latter method forecasts meteorological parameters such as temperature, air pressure, wind speed and direction, and water vapor.

The early detection method utilizes information on precipitation development in the upper atmosphere for 5 minute forecasts. Examples are the vertical integrated liquid water content (VIL) and the formation of precipitation cores.

The extrapolation method used in nowcasting predicts future locations of precipitation areas with the use of motion vectors, which are obtained by the correlation analysis of consecutive radar images. The accuracy of this method depends on the accuracy of the input rainfall information. We are examining how the MP radar QPE improves the nowcasting accuracy. The other nowcasting error source is assumption of steady states of precipitation systems; thus, the accuracy of nowcasting is not high for rapidly developing or decaying systems.

Four hour QPF is based on a cloud-resolving numerical model with a data assimilation technique. We are developing a real-time three-dimensional data variational (Real-time 3DVAR) analysis as the data assimilation technique. The calculation time for 3 hour QPF is around 15 minutes. The forecasting area is over the Kanto Plane, with a horizontal resolution of about 1km and 38 vertical layers.

**使命と参加機関**

**Mission and Participants**

**使命**

極端気象情報の利用者の例として、地方公共団体、鉄道、建設現場、学校、個人等を対象に、緊急時において、どのタイミングにどのような情報を必要としているかを調査・分析し、利用者に応じた災害情報の伝達方法を研究します。「極端気象早期検知・予測システム」による社会実験を実施し、極端気象の発生時に、実際に地方公共団体、鉄道、建設現場、学校、個人等に早期検知・予測情報を配信し、情報伝達による被害軽減効果を検証します。

**参加機関**

東洋大学がコア研究機関としてこの研究テーマの使命を遂行します。社会実験には、防災科学技術研究所、東京都環境科学研究所、日本大学、東京消防庁、東京都江戸川区、横浜市、藤沢市、南足柄市、JR東日本、JR東海、大林組が参加しています。

**社会実験**

—社会実験を通じたシステムの定着—

1. 4つの分野での社会実験: 救助活動、危機管理、社会基盤、教育
2. 解析と問題点の抽出、提言



**Mission**

The aim of the third research project is to validate the effects of MPSEP on the prevention of disasters, and the reduction of damage in those situations, through field tests of the MPSEP in four different disciplines; rescue services, risk managements, infrastructure, and education. To make MPSEP suitable for practical use, and before implementing any social experiments, surveys are conducted for each experimental field on what information is appropriate and on the effective means of transmitting such information.

**Participants**

Toyo University is the core university for the accomplishment of this research mission. The following organizations are participating in this research theme: NIED, the Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection (TMRIEP), Nihon University, Tokyo Fire Department (TFD), Edogawa in Tokyo, Yokohama/Fujisawa/Minamishiga in Kanagawa, East Japan Railway Company (JR-East), Central Japan Railway Company (JR-Tokai), and Obayashi Corporation.

**Social Experiments**

— Evaluate and adapt the developed nowcast system —

1. Social experiments in rescue services, risk managements, infrastructure, and education
2. Recommendations for extreme weather-resilient cities

社会実験

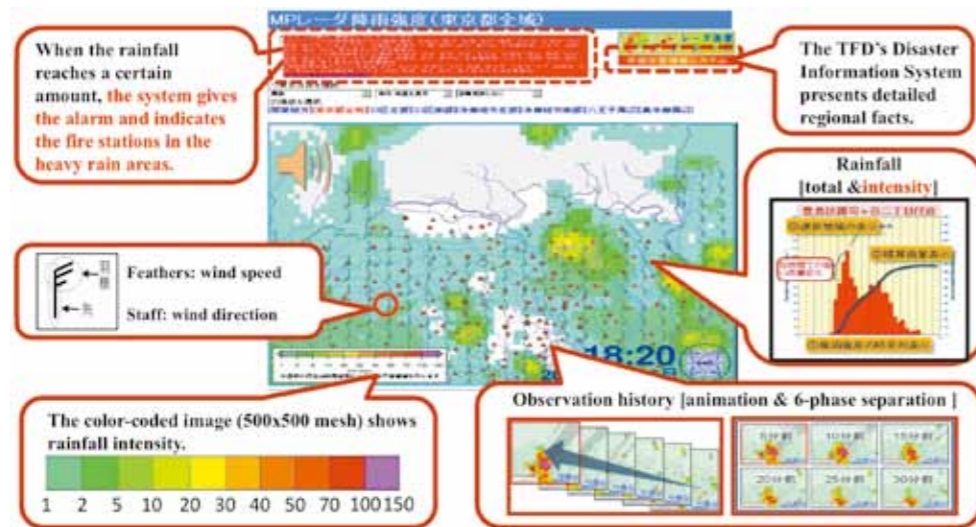
Social Experiments

例1：東京消防庁

東京消防庁では、防災科学技術研究所が運用しているMPレーダーの観測画像を防災科研サーバー上に開設した当庁専用のサイトに各消防署等がアクセスすることにより、局地的大雨等の風水害時に情報収集手段として活用している。

Example 1: Tokyo Fire Department (TFD)

The fire stations can utilize the MP radar information website which is specially prepared for the Tokyo Fire Department (TFD) to obtain local heavy rainfall information and others. The website is provided by NIED.



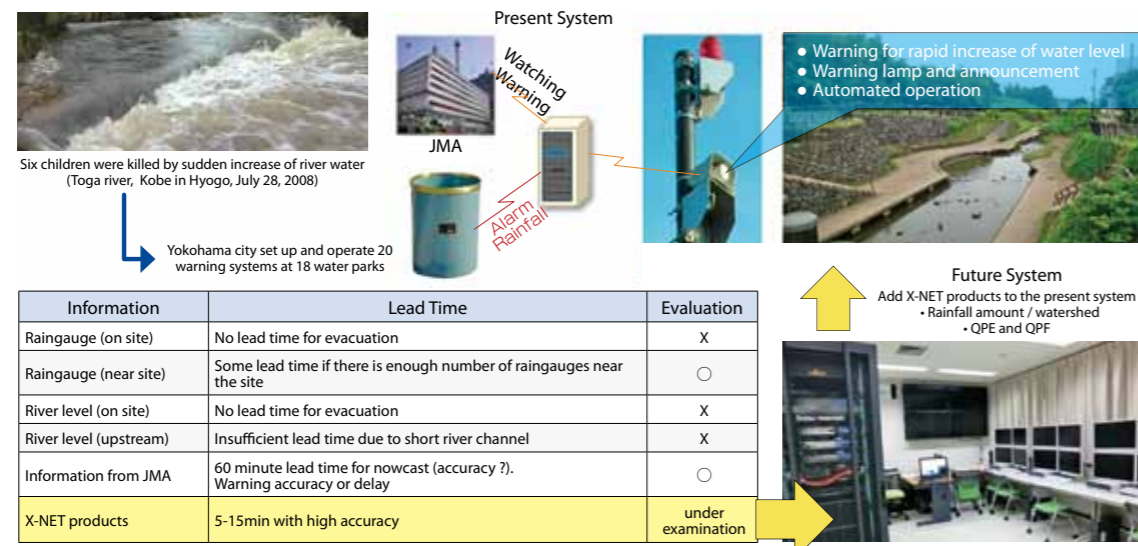
例2：横浜市

横浜市は、XバンドMPレーダーネットワークの定量的降水量推定(QPE)情報と定量的降水量予報(QPF)情報を、河川での急な増水による水害を防ぐために利用することを計画しています。具体的には市が管理している親水拠点(親水公園)の内18ヶ所に設置済みの20基の警報装置にQPEおよびQPF情報を組み込み、その効果を検証します。

Example 2: Yokohama City

Yokohama City is planning to utilize QPE and QPF information from X-band radar network for improving flash flood warning systems in urban water parks. They set up and operate 20 warning systems at 18 water parks. They are examining the effectiveness to introduce QPE and QPF information into their warning systems.

横浜での社会実験  
Social Experiment in Yokohama City



社会実験

Social Experiments

例3：JR東日本・JR東海、大林組

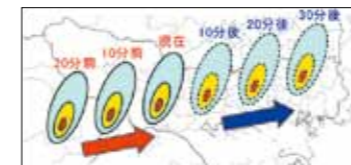
JR東日本とJR東海は、XバンドMPレーダーネットワークの定量的降水量推定(QPE)情報と定量的降水量予報(QPF)情報を、鉄道の安全運行を管理する交通コントロールシステムの補助情報として利用することを検証します。大林組は、高所での建設作業の安全性の確保に、XバンドMPレーダーネットワークから得られる強風情報を活用できないかを検証します。

Example 3: JR-East, JR-Tokai, Obayashi Corporation

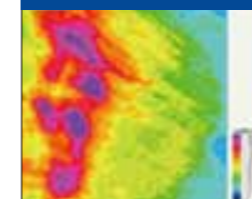
The East Japan Railway Company and the Central Japan Railway Company examine X-NET QPE and QPF information for their computer-assisted traffic control systems. Obayashi Corporation is examining X-NET wind nowcasting for safety management at high construction sites.

大林組、JR東日本、JR東海での社会実験  
Social Experiments by JR-East, JR-Tokai, and Obayashi Corporation

大林組：高所建設作業の安全管理のためのX-NETの強風情報の利用  
Obayashi Corporation examines X-NET wind nowcast for safety management at high construction sites



JR東日本とJR東海：列車運行システムへのX-NET QPE, QPFの利用  
East Japan Railway Company and Central Japan Railway Company examine X-NET QPE and QPF information for their computer-assisted traffic control system.



例4：東京都環境科学研究所

東京都環境科学研究所では地上気象観測機器を設置した複数の都立高校で自然科学・環境・防災に関する出前講義をおこないます。また、XバンドMPレーダー情報を閲覧できる端末を設置して、学生や職員の防災情報として利用するための実験をおこないます。

Example 4: Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protections

The Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection plans to set up surface meteorological instruments and X-NET monitor displays in several high schools in the metropolitan area to be used for science education and students safety management.

東京都立高校での社会実験  
Experiment by TMRIEP

東京都環境科学研究所：理科教育と防災教育のために、地上気象観測機器とX-NETモニターを都立高校へ設置  
Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection plans to set up surface meteorological instruments and X-NET monitor displays in several metropolitan high schools for science education and students safe management.

