国内外の人工降雨・降雪の取り組み

気象研究所
物理気象研究部
第一研究室
村上正隆

平成19年3月24日
公開シンポジウム
幕張メッセ国際会議場

人工降雨に関する用語

- 気象改変
- 気象調節
- 気象制御

WEATHER MODIFICATION

- 人工降雨・人工降雪
- 降雹制御
- ・・・・・・

気象改変に対する見方

- 自然に手を加えるなんて（拒否反応）
  - 人類の歴史は気象環境の人工調節
    - 雨・風・寒さから身を守る衣服・住居
    - 海からの強風を和らげる防風林
    - 灌漑や植林による砂漠地帯の気象条件改良
- 科学的根拠のないもの（祈祷、錬金術）
- 何でもできる（万能）

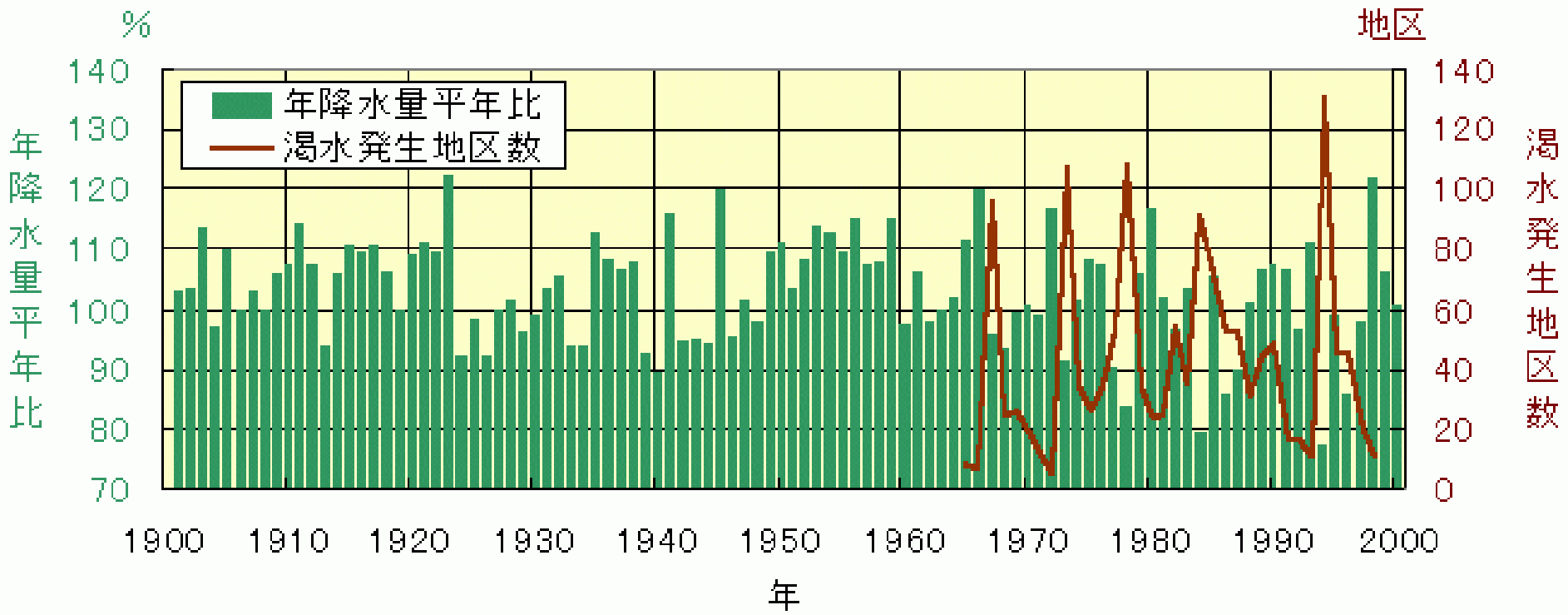
↓

~~ALL or NOTHING~~

今日のお話

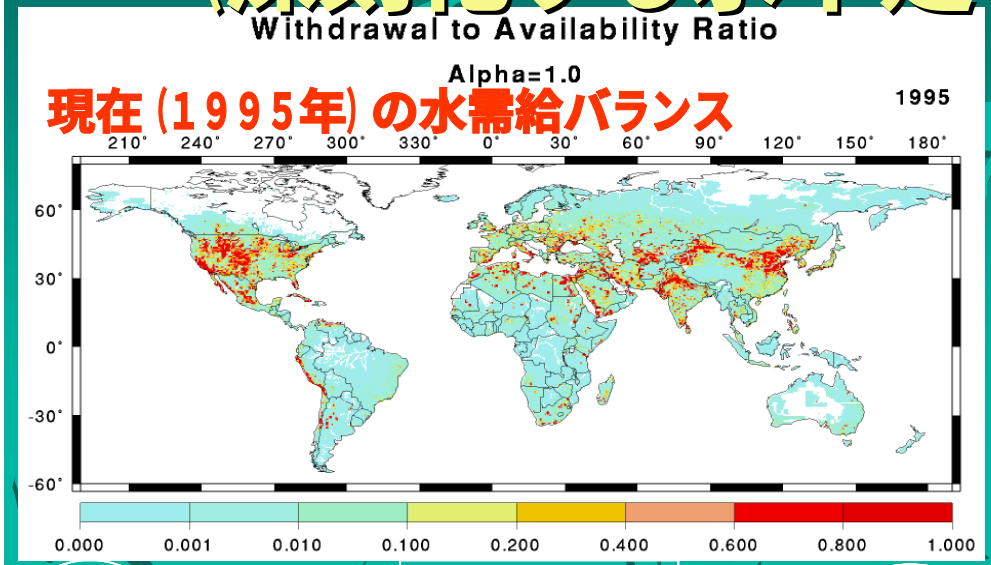
- 気象改変の必要性
- 気象改変（人工降雨・降雪）の歴史
- 気象改変の基礎と調節法
- 気象改変の応用例
- 気象改変の現状
- 気象改変の問題点
- 諸外国における気象改変の取り組み
  - 米国、中国、タイ
- 我が国における取り組み

人工降雨・降雪はなぜ必要？

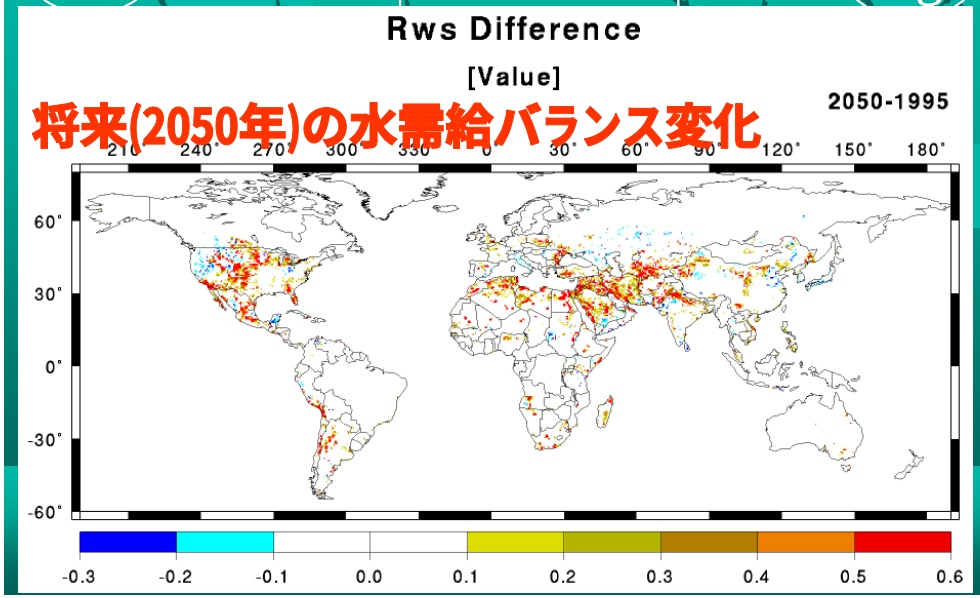


人工降雨・降雪の必要性
(温暖化に伴う異常気象の頻発　＞　自然災害の緩和)

人工降雨・降雪の必要性
(深刻化する水不足　＞　水資源確保)



Low ← Water Stress → High



「２０１０年までに水不足深刻化、
水資源をめぐる紛争も」
国連人間居住会議
（１９９６年3月）

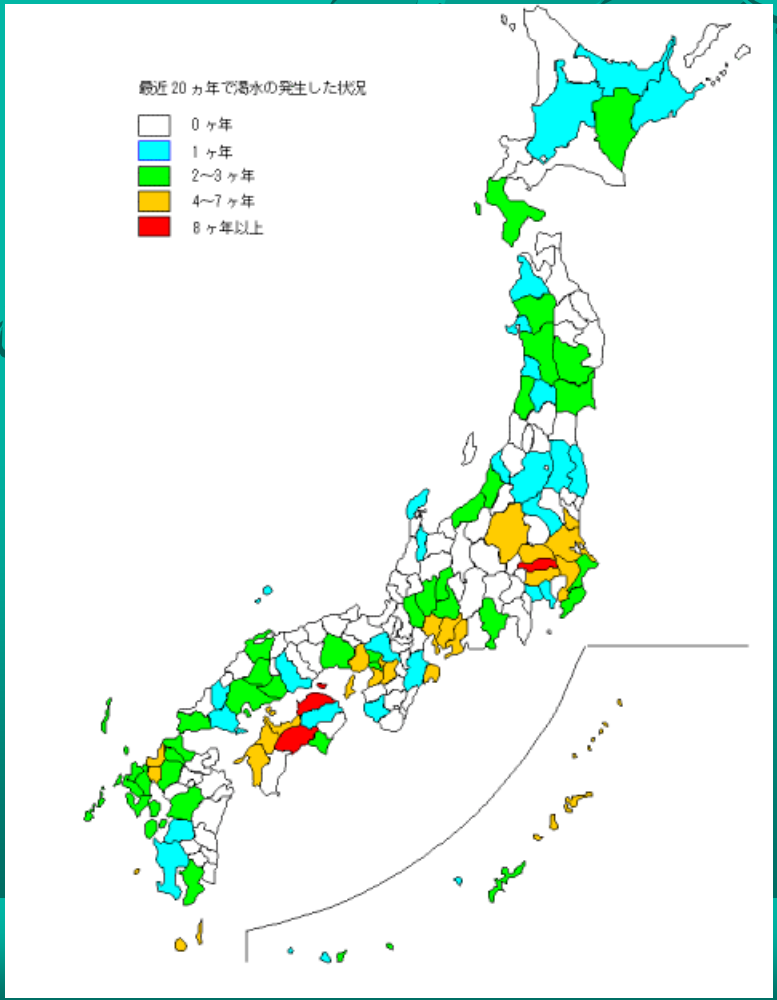
「２０２５年までに世界中の人口の
２／３が水不足の問題に直面」
世界水フォーラム
（２００３）

(Oki et al., 2003)

人工降雨・降雪の必要性

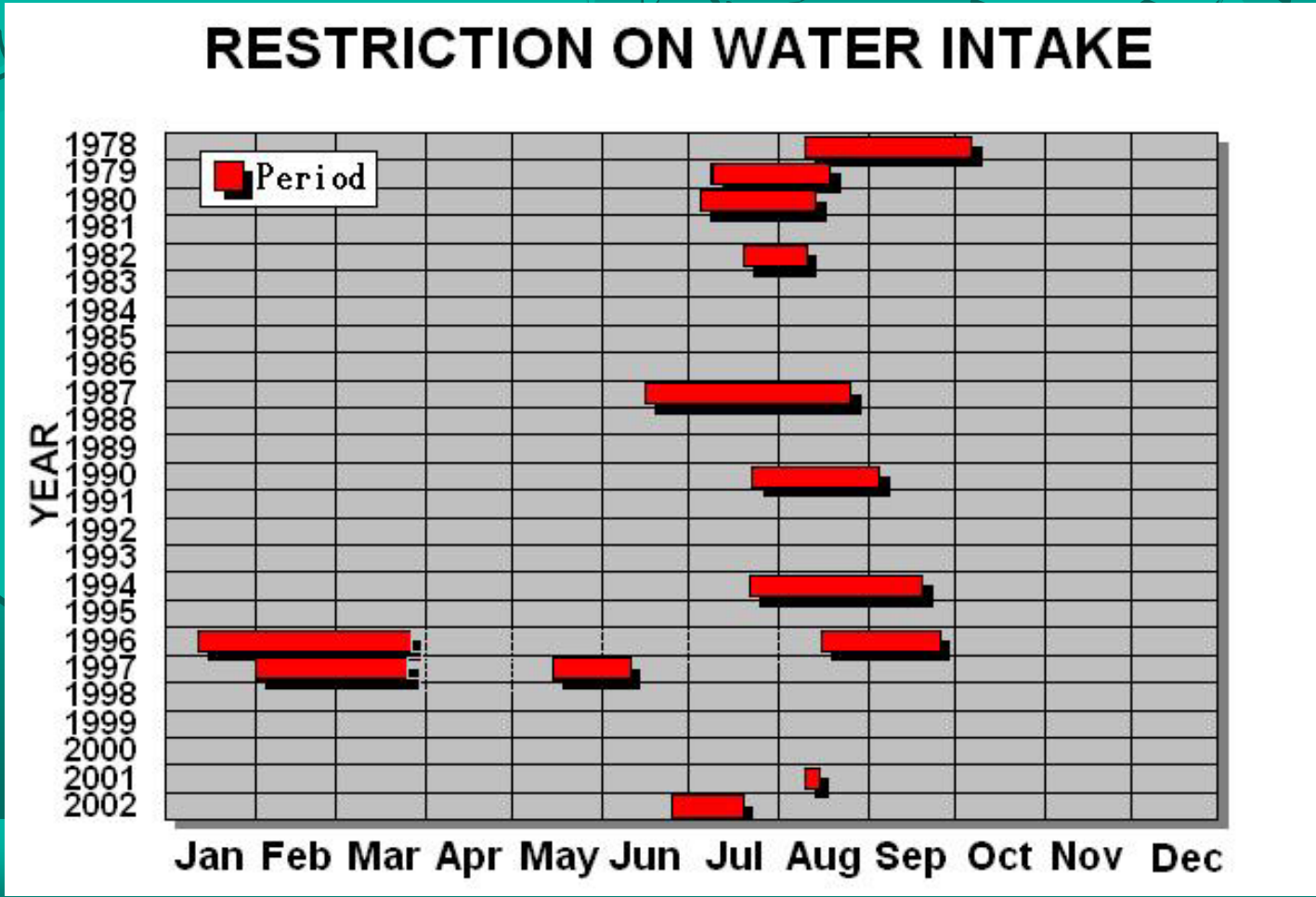
全国渇水発生頻度分布図

（１９８５年から２００４年の間で、上水道について減断水があった年数）



人工降雨・降雪の必要性

関東地方における渇水発生頻度
(取水制限期間)



気象改変（人工降雨）の歴史

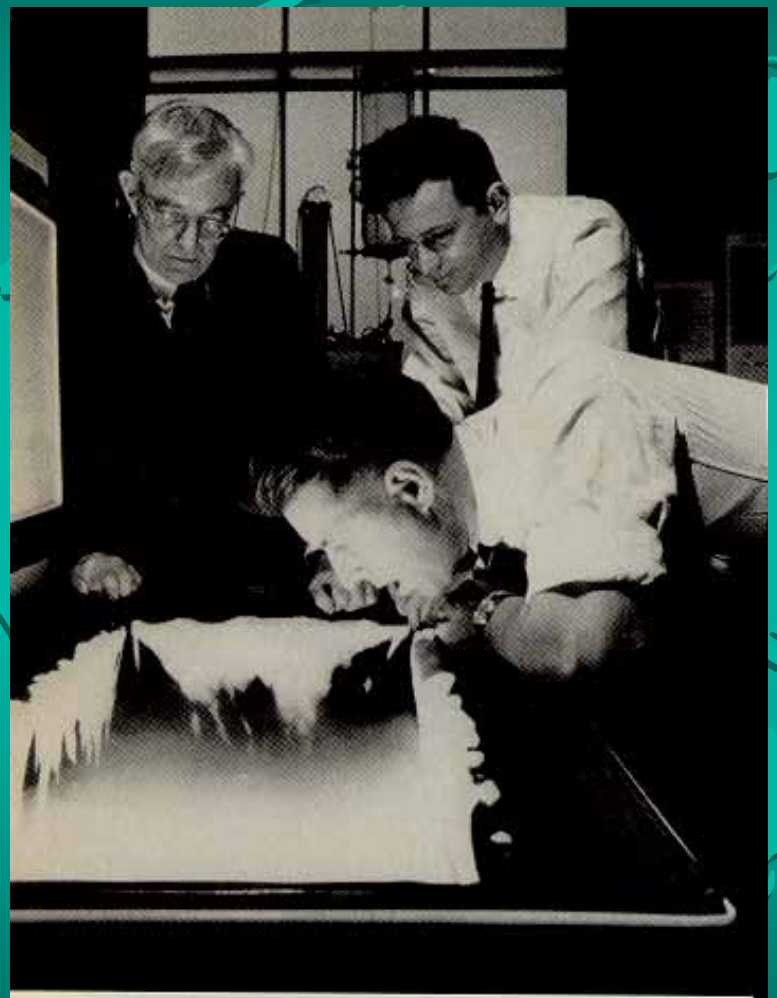
- 人工降雨に対する強い願望

↓

- 非科学的な方法
  - 雨乞い　（大昔）
  - 大砲や花火で雲を刺激　（近世）

- 科学的な方法
  - 人工的に氷晶を発生　（戦後まもなく）

初めての科学的人工降雨実験

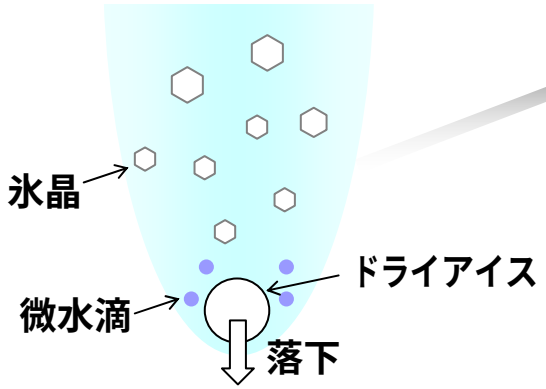


SNOWSTORM IN A BOX: General Electric scientists Irving Langmuir (*left*) and Bernard Vonnegut look on while Vincent J. Schaefer performs a snowmaking experiment. All three scientists were involved in developing the field of weather modification.

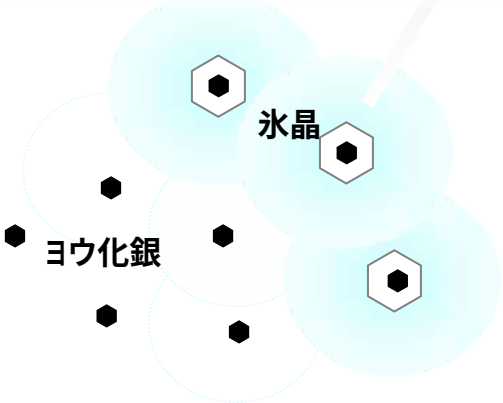
in Wilmington, Ohio, that showed seeding to be relatively ineffecti
(*left*). Stratus clouds seeded with dry ice in another experiment display
a characteristic racetrack pattern (*right*).

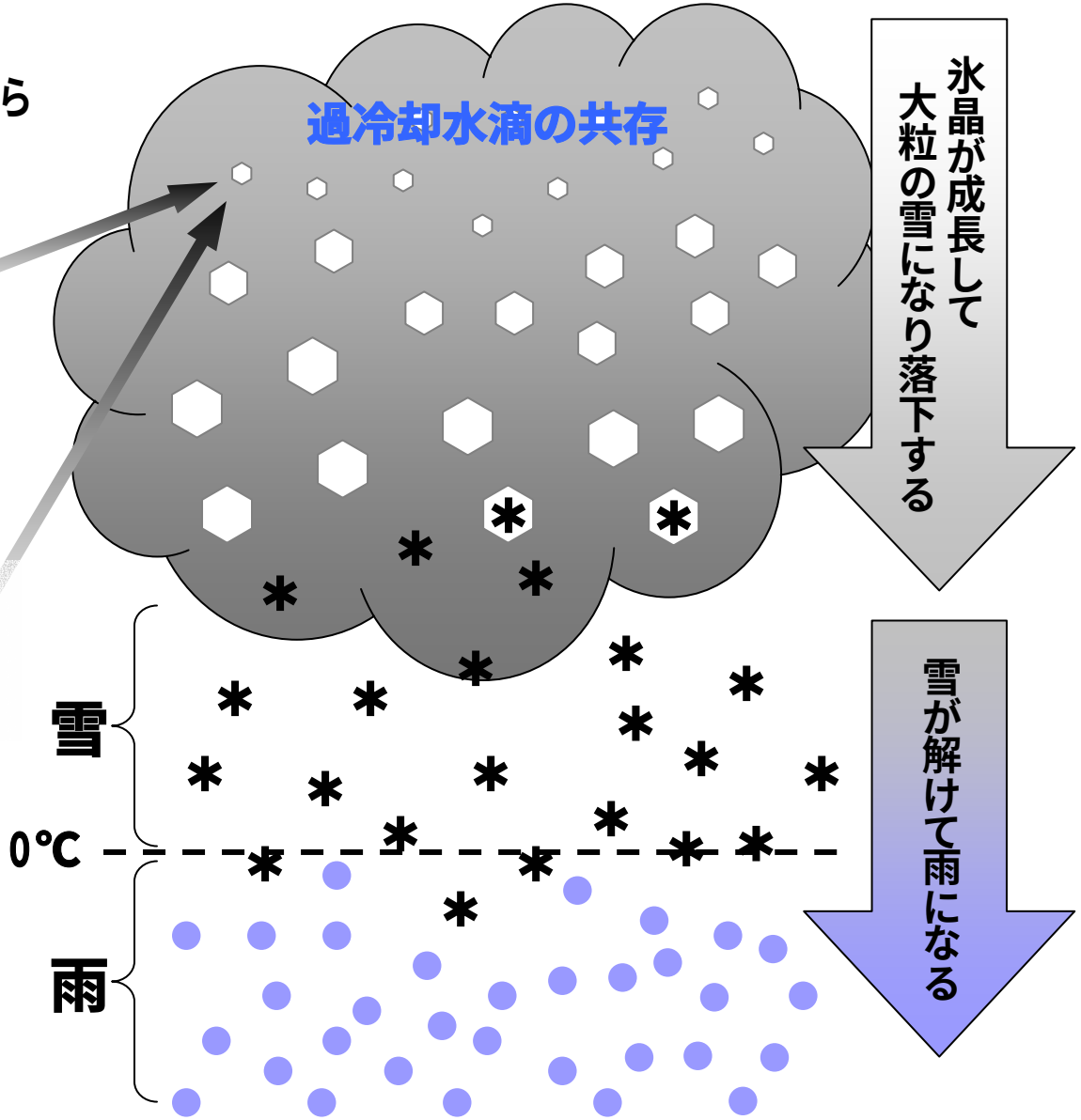
気象改変の基礎と調節法
冷たい雲に対するシーディング法（氷晶）

○ドライアイスや液体炭酸は、
空気の温度を下げて水蒸気から
氷晶をつくる（強冷法）



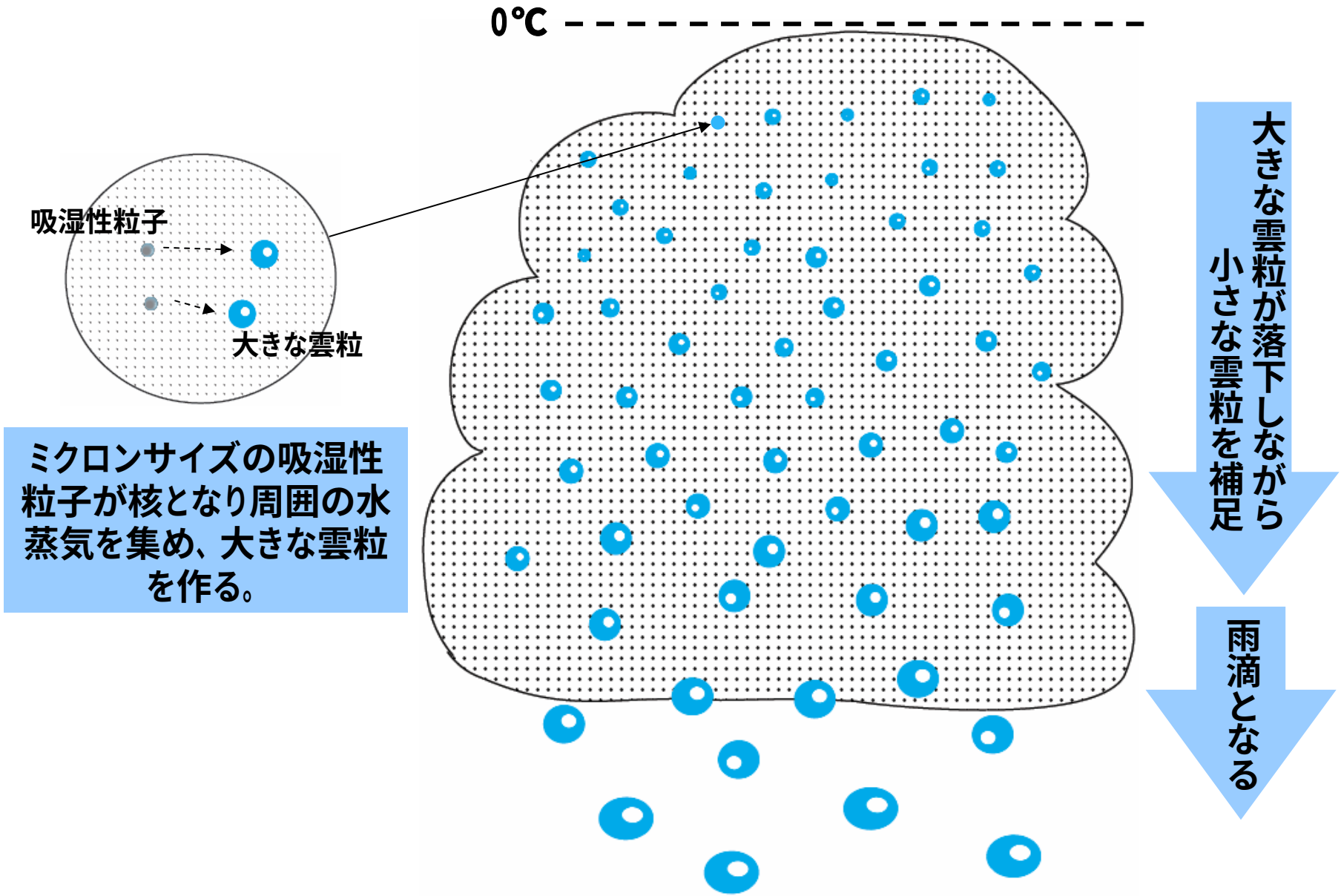
○ヨウ化銀はヨウ化銀自身が
核となり周りの水蒸気を集め
氷晶をつくる（人工氷晶核法）



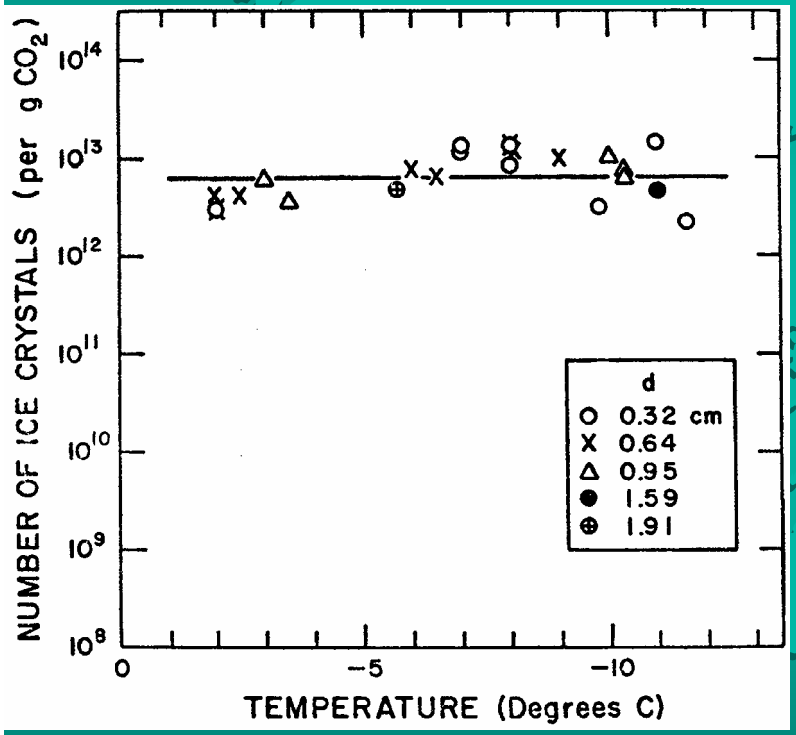


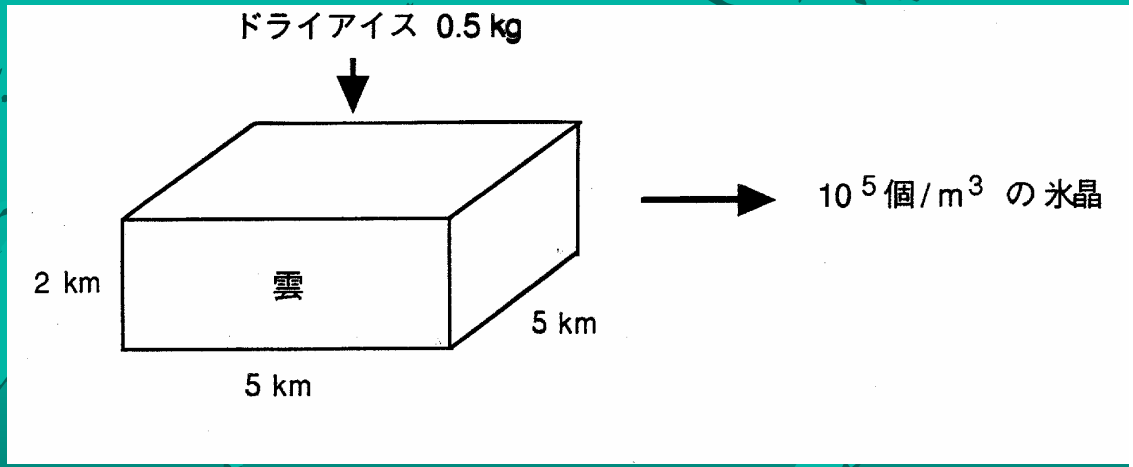
気象改変の基礎と調節法

暖かい雲に対するシーディング法(大雲粒)



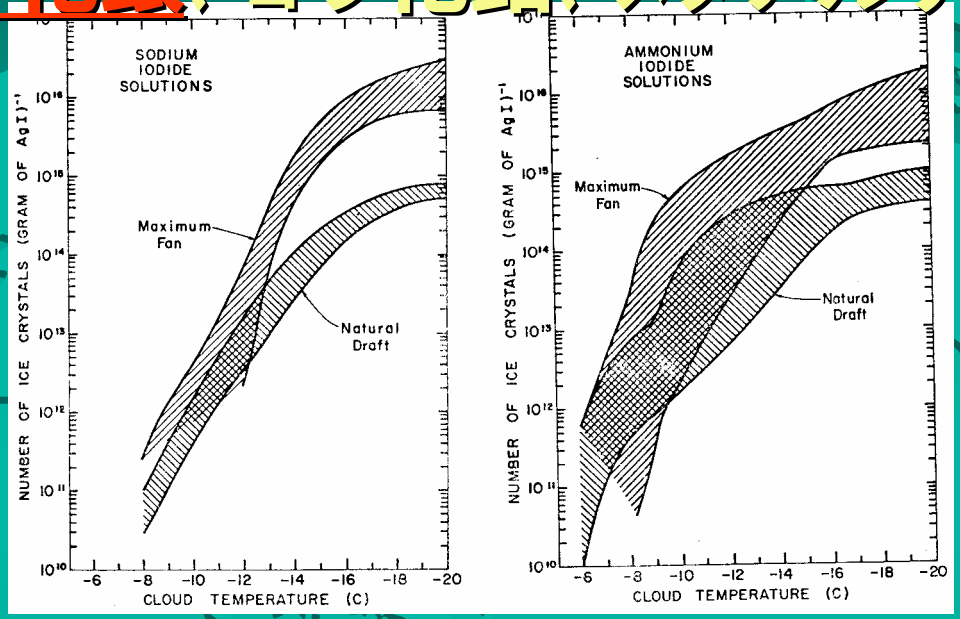
氷晶発生法ー強冷法
ドライアイス、液体炭酸、液体プロパン

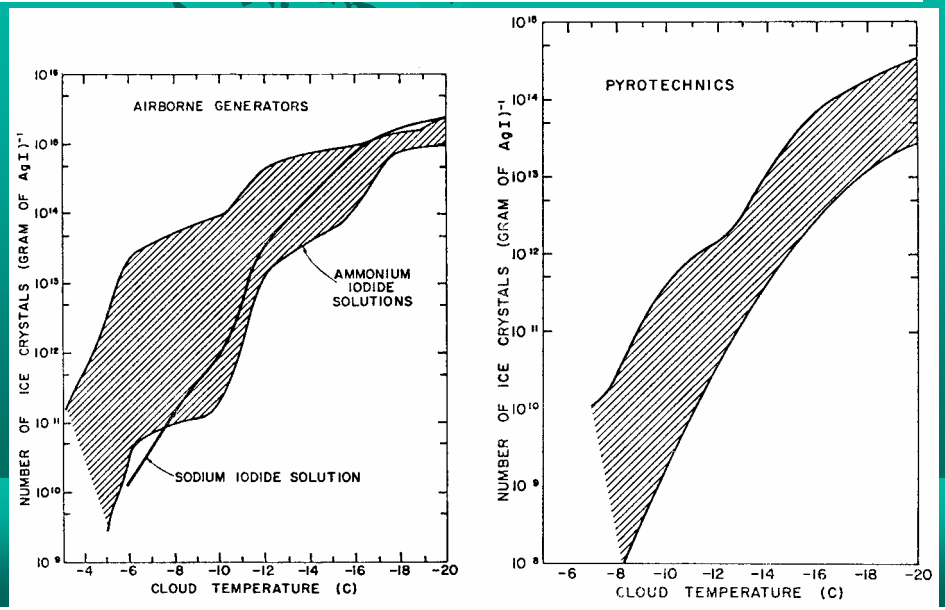




氷晶発生法ー人工氷晶核

ヨウ化銀、ヨウ化鉛、メタアルデヒド

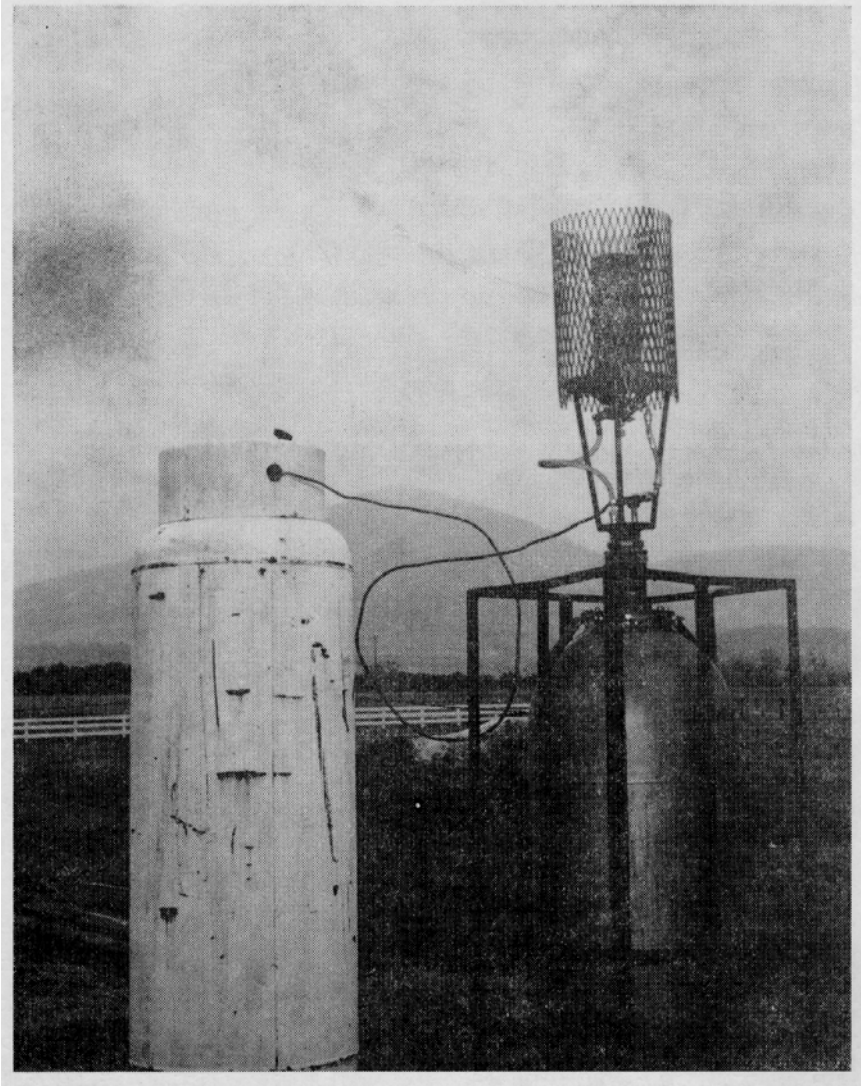




人工氷晶核発生装置

地上発煙装置

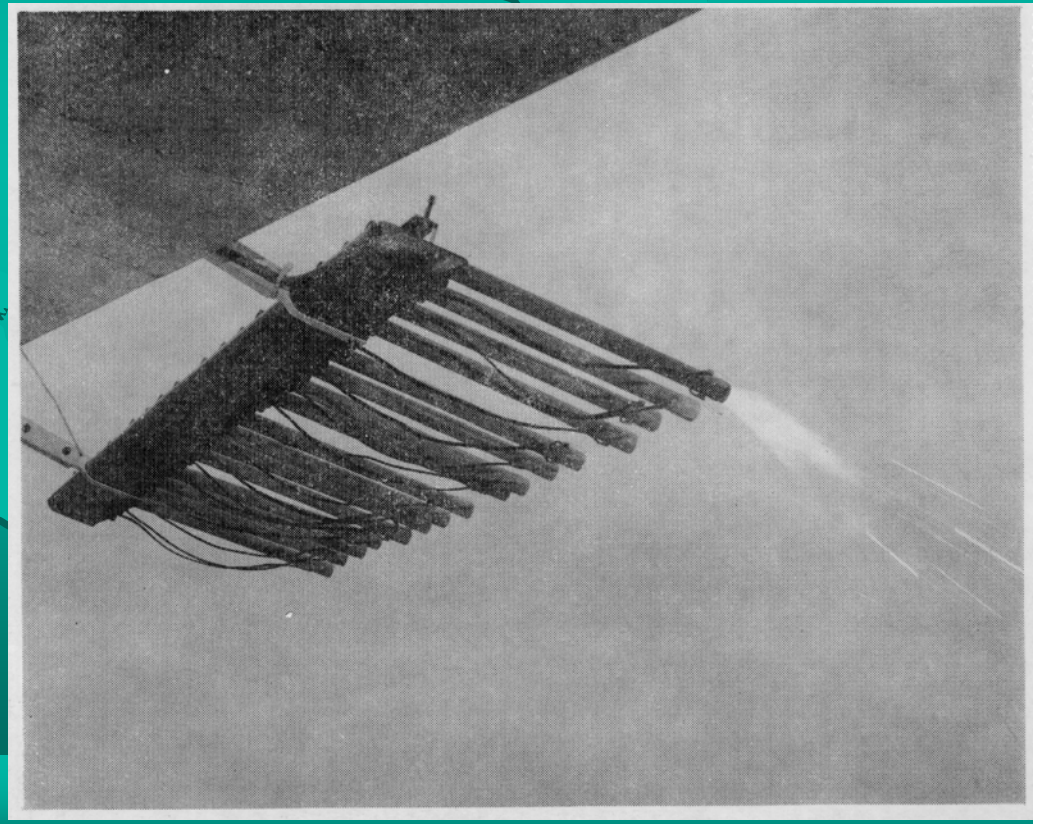
AgI-AgCl-NaCl-アセトン溶液



火工式発煙装置

アメリカ法　AgIO3＋還元剤

ソビエト法　AgI＋酸化剤＋還元剤



人工氷晶核発生装置

投下式火工法

高射砲

ロケット砲

吸湿性粒子発生装置 (フレア法)

The South African hygroscopic flares
Each flare contains 1 kg and burns for 4 minutes
A full airplane load is 24 flares, 24 kg.

吸湿性粒子発生装置（ﾏｲｸﾛﾊﾟｳﾀﾞｰ法）

気象改変の応用例

- 人工増雨･増雪
- 集中豪雨豪雪の緩和
- 降雹制御
- 霧･雲の消散
- 台風制御
- 雷放電の制御
- その他の気象改変
  - 上層雲の生成

人工降雨・降雪技術の現状

人工調節の基本的考え方

最小限の人工的刺激によって自然の雲が持っている潜在的能力を最大限に引き出す

人工調節法

- 氷晶（核）　強冷法・人工氷晶核法　冷たい霧・雲
  （ドライアイス・ヨウ化銀）
- 雲核　吸湿性粒子
- 雨滴の芽　散水法　暖かい霧・雲
- エネルギー　熱・下降流

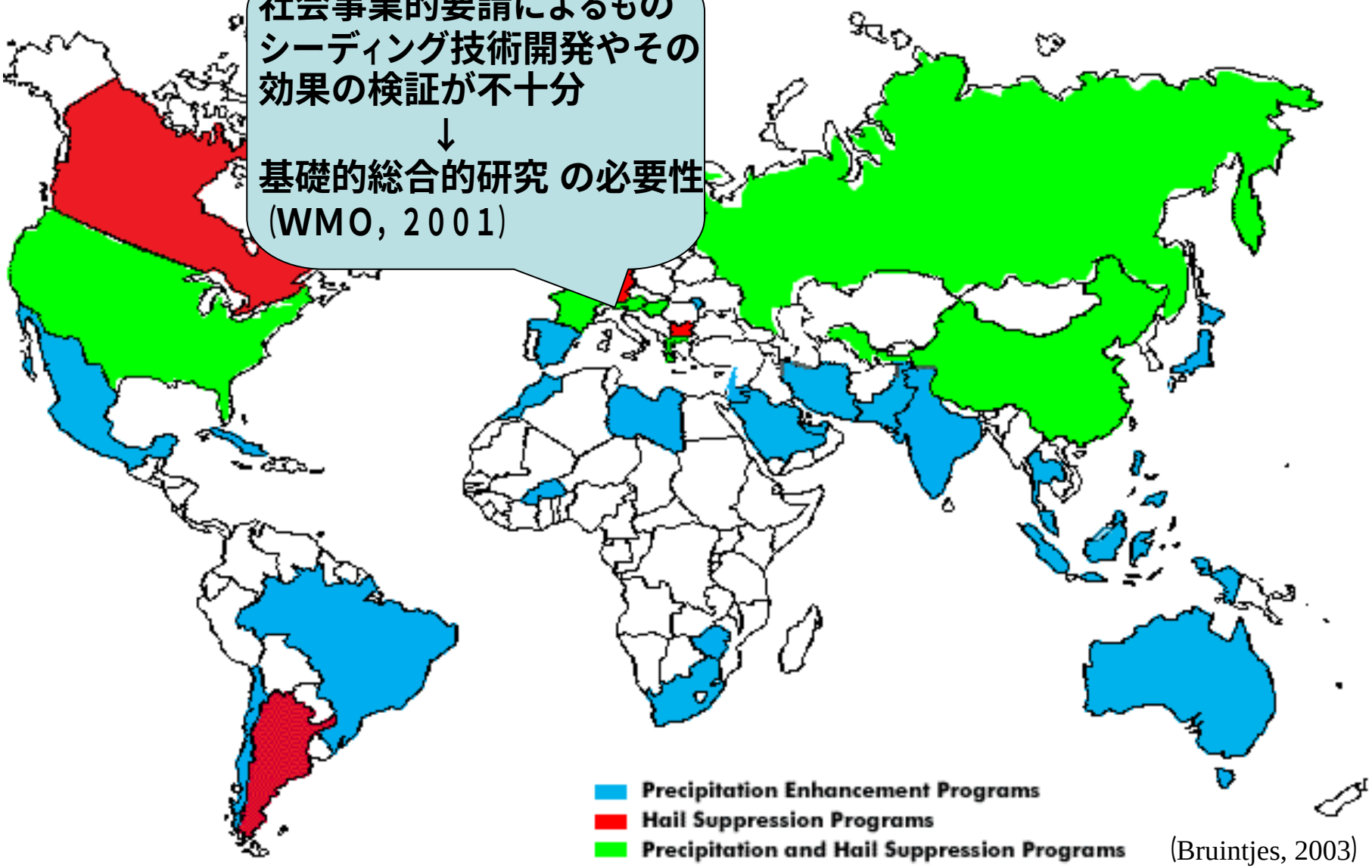
シーディング法（種まき法）

人工的に生成した雲粒や氷晶などを雲内に導入し、それに引き続く雲の微物理構造の変化を利用する

人工降雨・降雪技術の現状

人工降雨・降雪などを実施している国々

社会事業的要請によるもの
シーディング技術開発やその
効果の検証が不十分
↓
基礎的総合的研究 の必要性
（WMO，2001）



（Bruintjes, 2003）

気象改変の現状（WMO STATEMENT, 2001）

- 約４０カ国で１００件以上のプロジェクト
  - 大多数が業務的、研究的プロジェクトの必要性
- 効果判定（統計的手法＋物理的手法の必要性）
  - 物理的予報因子に基づく統計（効果判定）
  - シーディング効果を表す物理量の把握（新しい測定技術）
  - 数値雲モデルの利用
- 気象改変技術の信頼性
  - 霧の消散
  - 降水増加
    - 山岳性混合雲
    - 深い層状雲（Ｔｔｏｐ＞－２０℃）
    - 積雲系の雲
  - 降雹制御
- 非意図的気象改変の意図的気象改変技術への影響評価
- 気象改変の経済・社会・環境への影響評価

気象改変の問題点

- 効果判定（統計的手法）の難しさ
- 自然環境への影響
- 社会的影響

効果判定

シーディング前

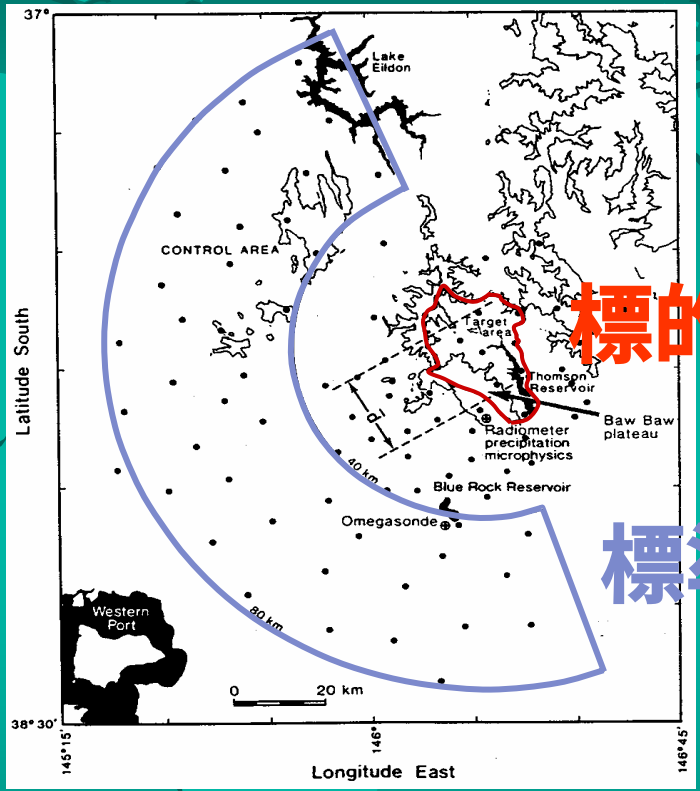
シーディング後

LET IT RAIN: Unseeded clouds (*top*) have less moisture conte
than the same bank of clouds after seeding (*bottom*). The seed
clouds managed to produce rain showers.

シーディングをしなかったらどうなったの？

人工降雨（雪）の効果判定

統計的手法

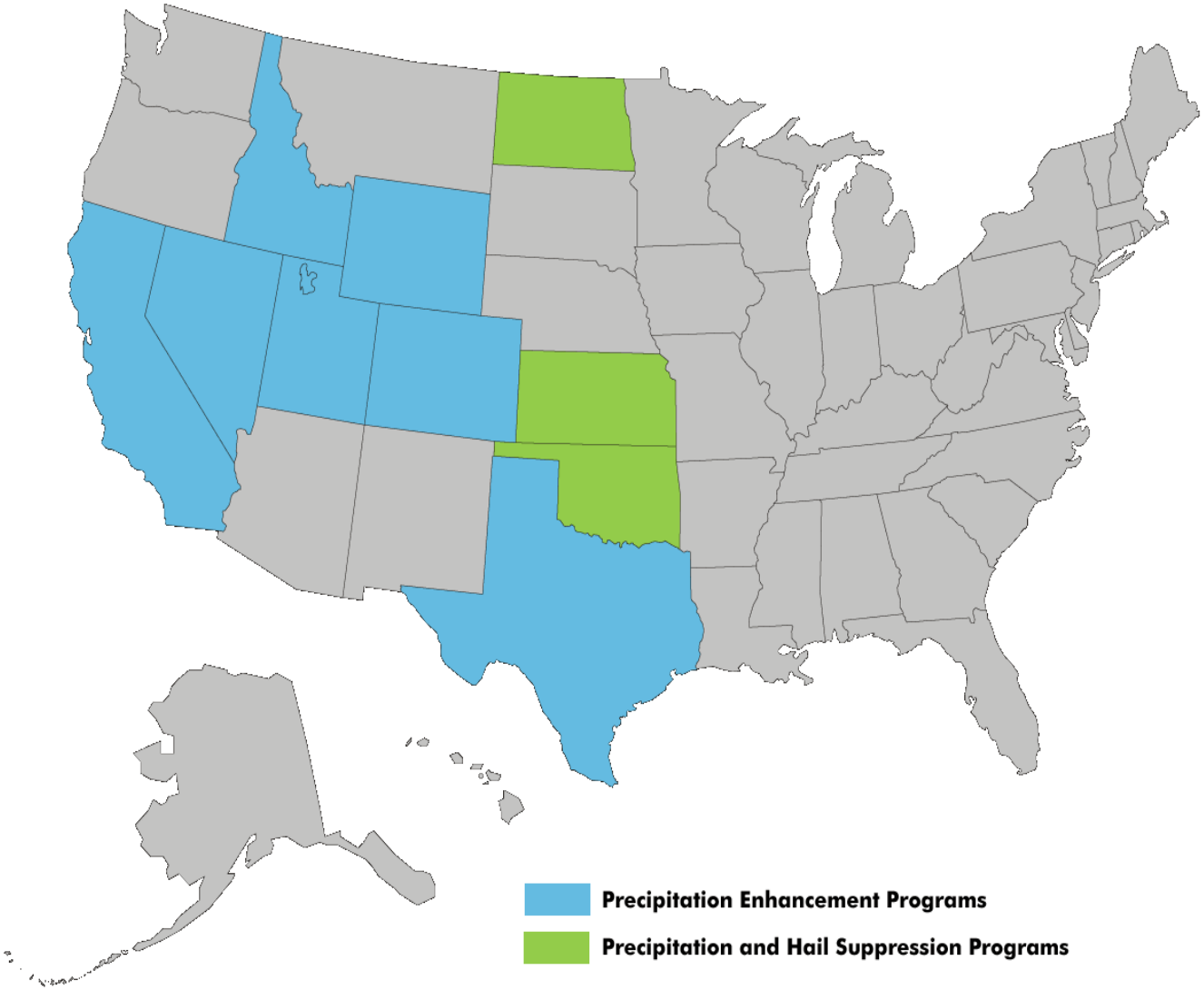


Number of Experimental Units and Seasons Required to Detect a 40% Rainfall Increase under a Randomized Single-Area Design[a]

Experiment	No. of units	No. of units per season	Seasons
SCUD (Eastern U.S.)	178	19	9
Grossversuch IIIA (Swiss hail experiment)	390	15	26
Arizona I	460	22	21
East central Illinois (summer showers)	770	38	20

[a] Based on data from Neyman and Scott (1967a).

気象改変を実施している州（米国）



（Bruinties. 2003）

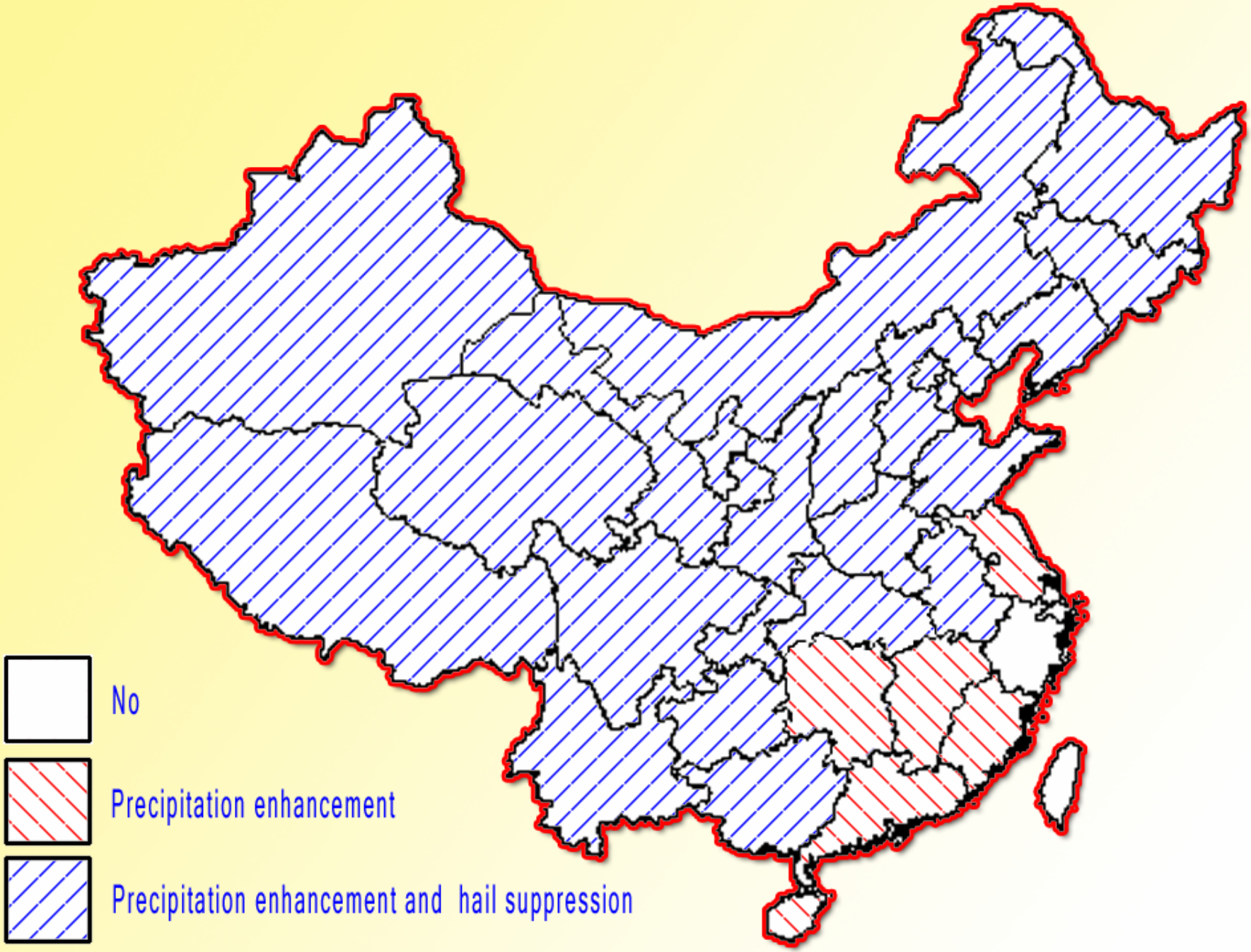
民間気象改変会社 (米国)

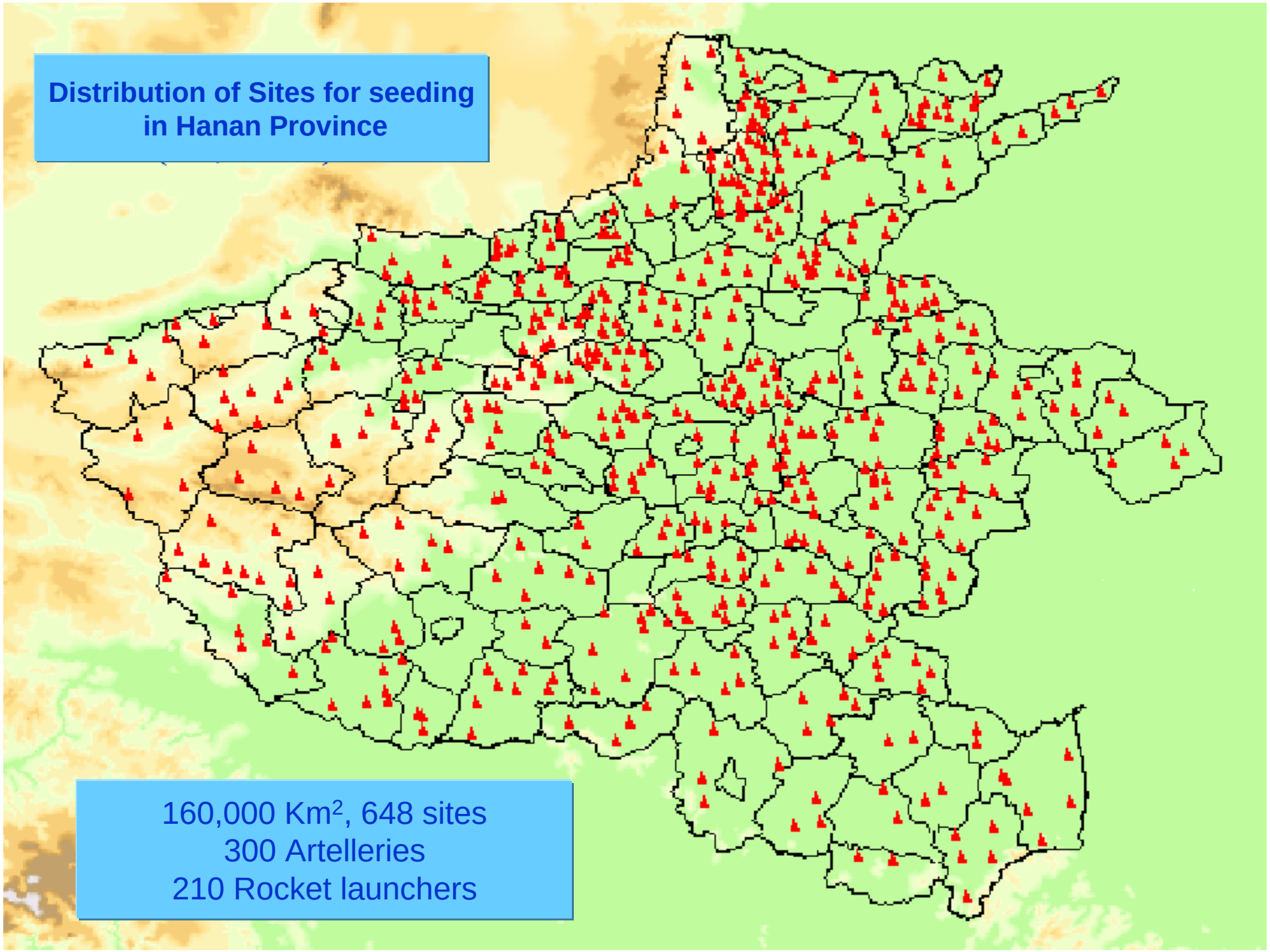
WEATHER MODIFICATION, INC.

WMI Weather Modification Projects

- Alberta Hail Suppression Project
- Argentina Hail Suppression Project
- Greek Hail Suppression Program
- United Arab Emirates Program
- North Dakota Cloud Modification Program
- West Central Texas Rainfall Enhancement Program
- Oklahoma Weather Modification Program

Sketch Map of Weather Modification Operations in China in 2002




Distribution of Sites for seeding in Hanan Province
160,000 Km^2, 648 sites
300 Artelleries
210 Rocket launchers

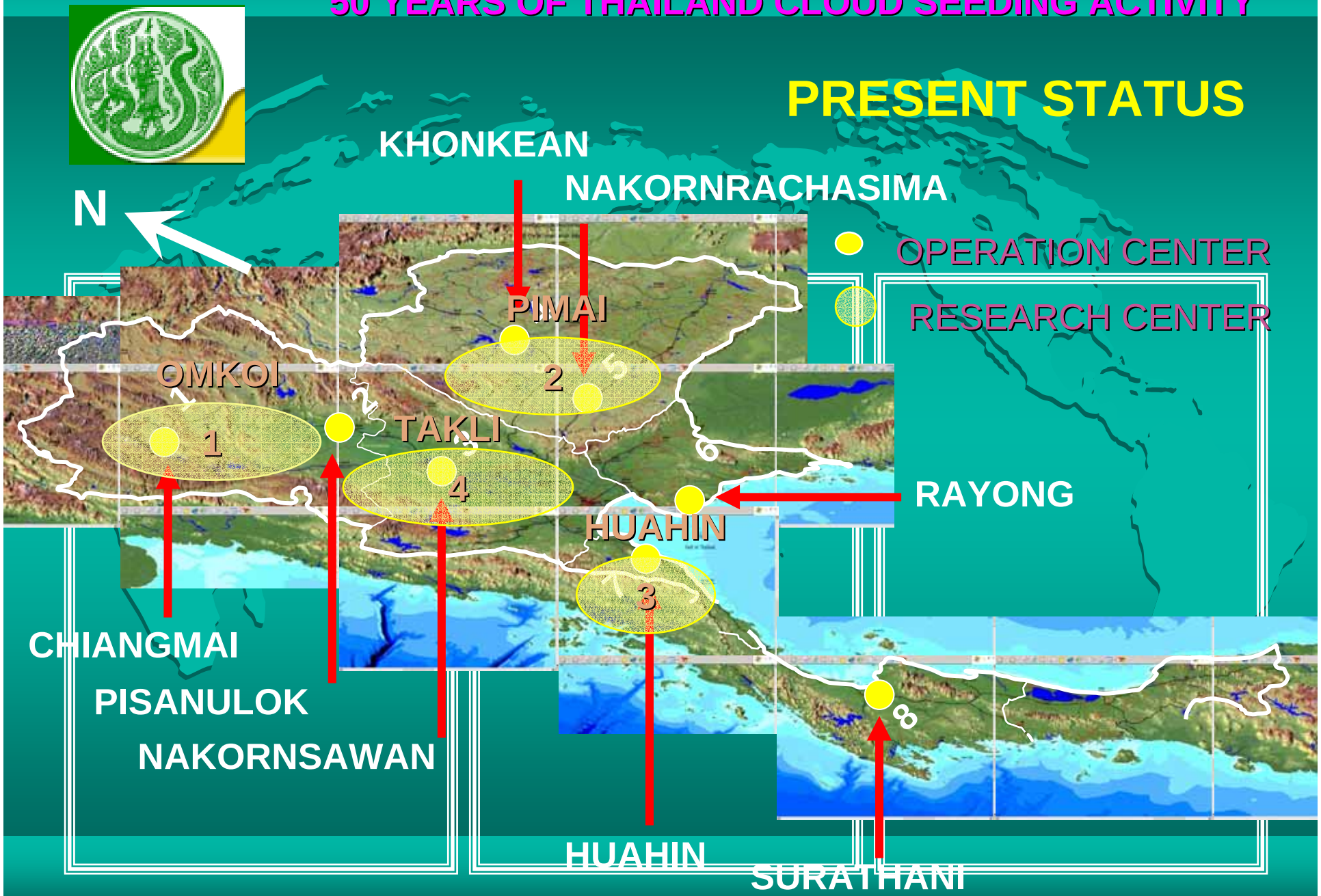
PRESENT STATUS

FACILITIES

Personnel:	500
Aircraft:	30
Operation Center:	8
Research Center:	4
Airfield:	3

50 YEARS OF THAILAND CLOUD SEEDING ACTIVITY

PRESENT STATUS

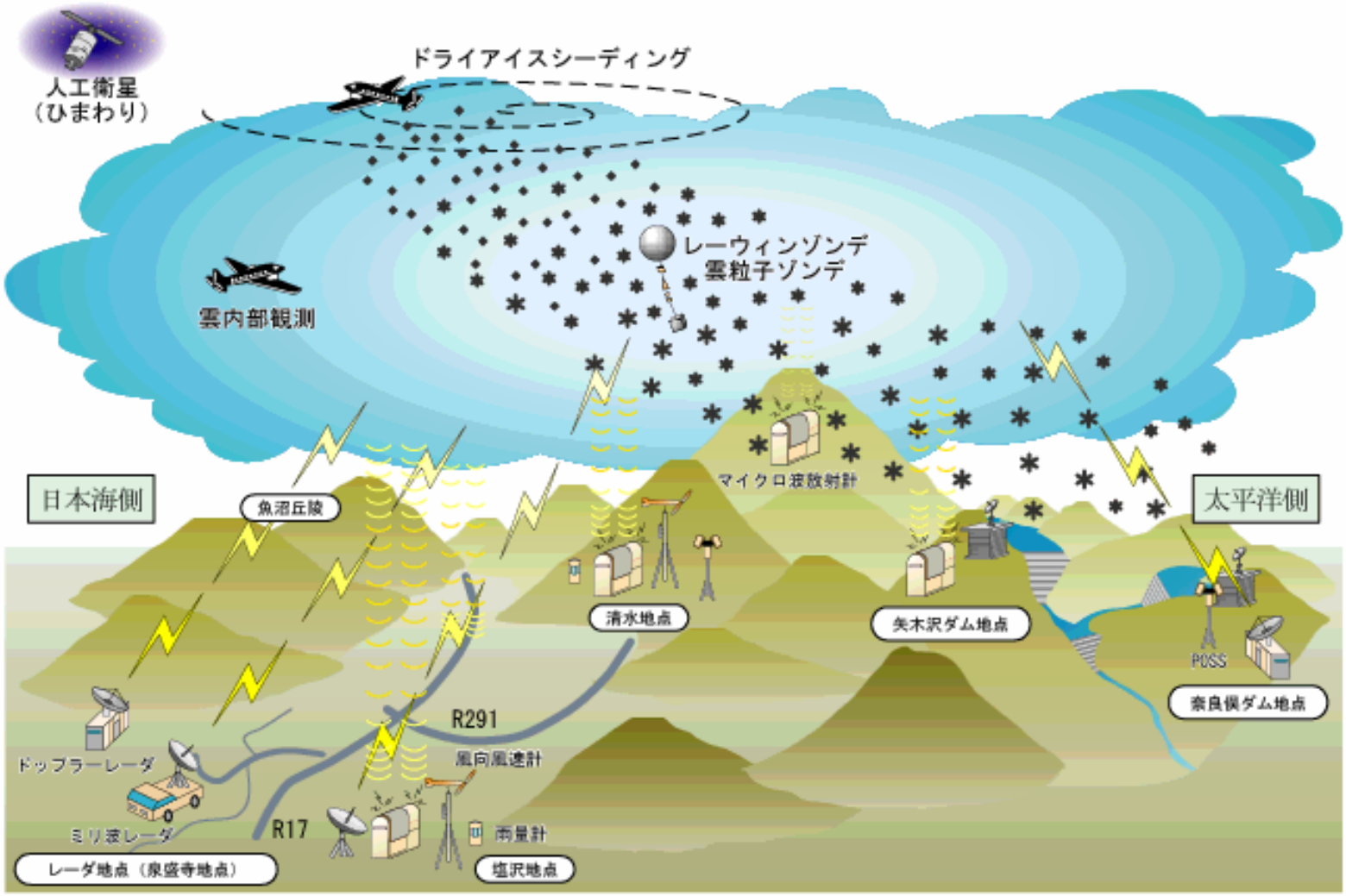


我が国における取り組み

- １９４７年
  人工降雨実験（航空機からドライアイスを撒布）九州大学、九州電力、在日米軍
- １９５１～１９６５年頃
  人工降雨実験（ヨウ化銀やドライアイス）
  電力会社がスポンサー、大学や気象研究所参加
- １９６５年～
  渇水時の人工降雨実験（地上設置型のヨウ化銀発煙装置や航空機からの散水装置）　東京都、福岡県、沖縄県
- １９８８～１９９２年
  科学技術庁振興調整費「降雪機構の解明と降雪雲の人工調節の可能性に関する基礎的研究」
  気象研究所、大学、国立研究機関
- １９９４～２００２年
  共同研究「山岳性降雪雲の人工調節に関する研究」
  気象研究所・利根川ダム統合管理事務所
- ２００６年～
  科学技術庁振興調整費「渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究」　気象研究所、大学等（１０機関）

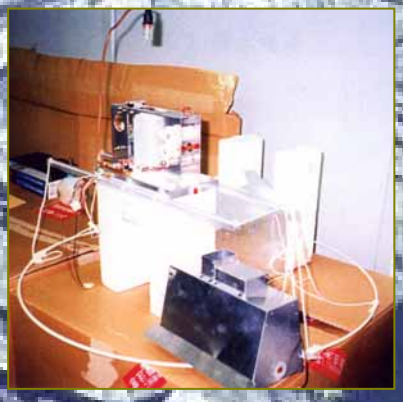
人工降雪プロジェクト
(気象研究所、利根川ダム統合管理事務所)

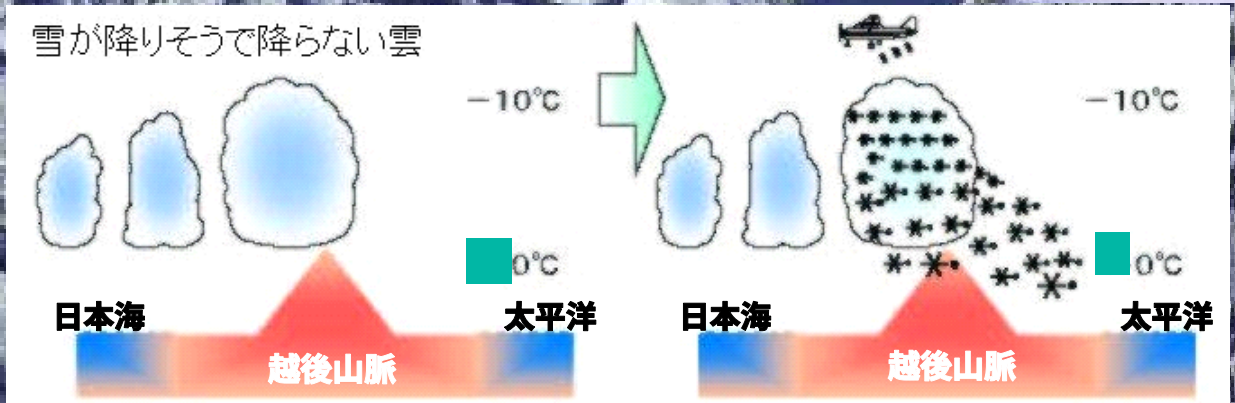
人工降雪実験調査



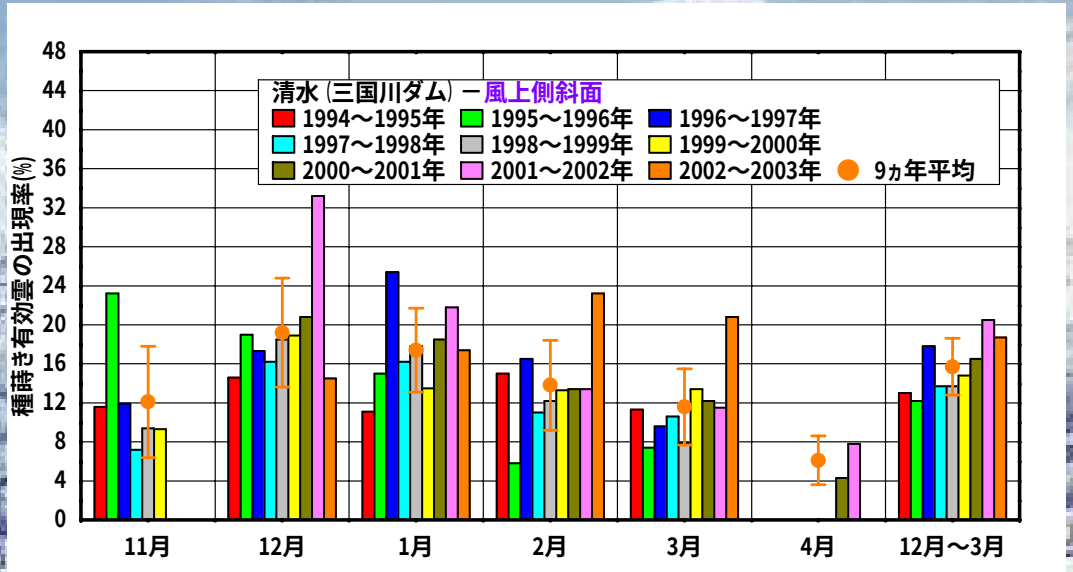
人工降雪に関するこれまでの成果

山岳性降雪雲の人工調節に関する研究（気象研・利根ダム）

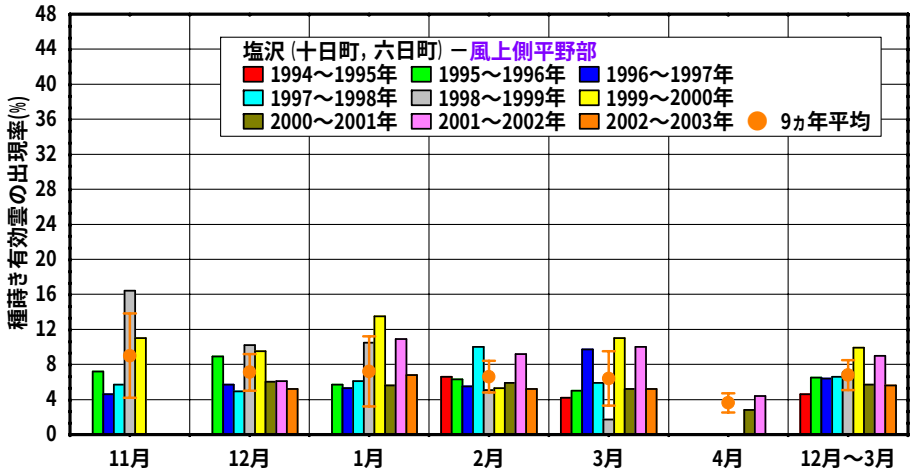


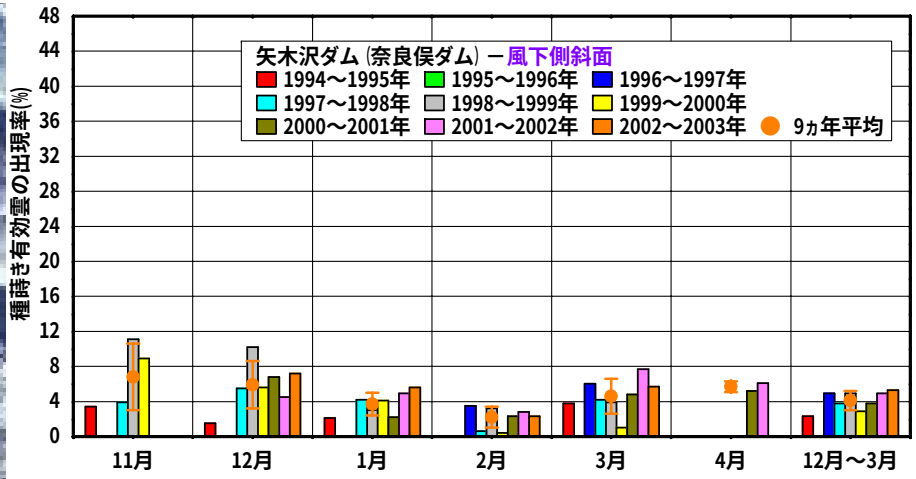


人工降雪に適した雲の出現頻度



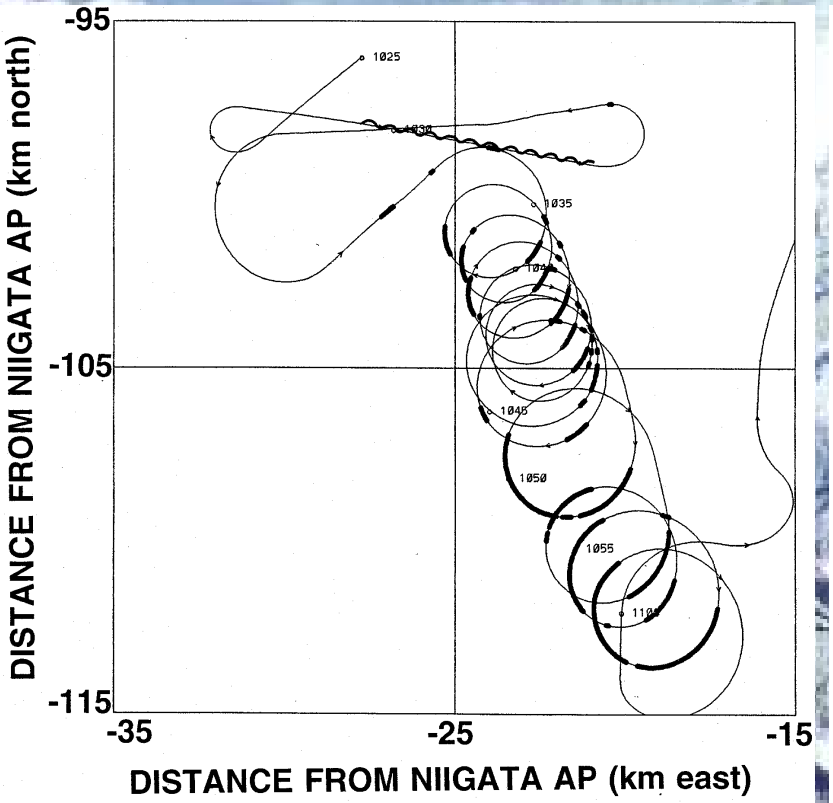
雲頂温度－5～－25℃
雲量9以上
1時間平均雲水量0.2mm以上



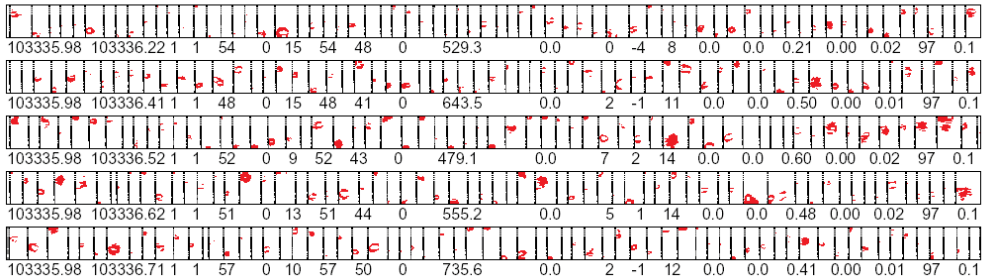


リモセンデータ統計解析
(2)山岳風上斜面では、15～20%と高い出現頻度

Seedingによる雲の変化



103336-103337 (～ 6min)

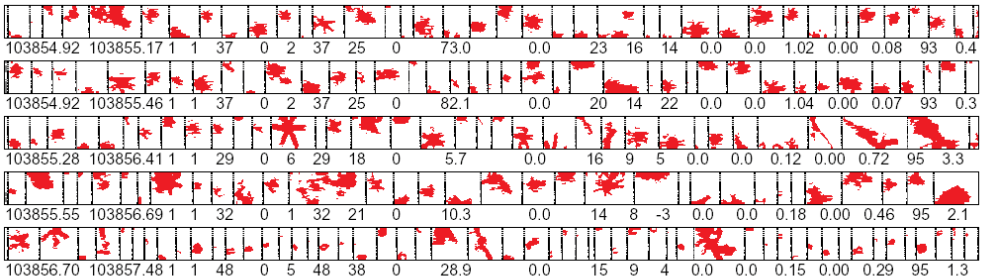


↓

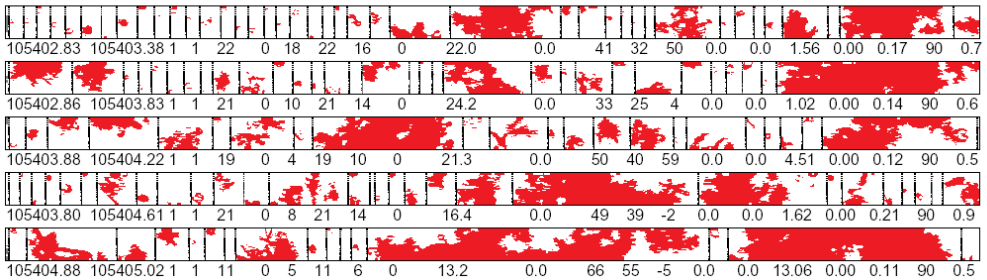
↑

800μm

103855-103857 (～ 11min)

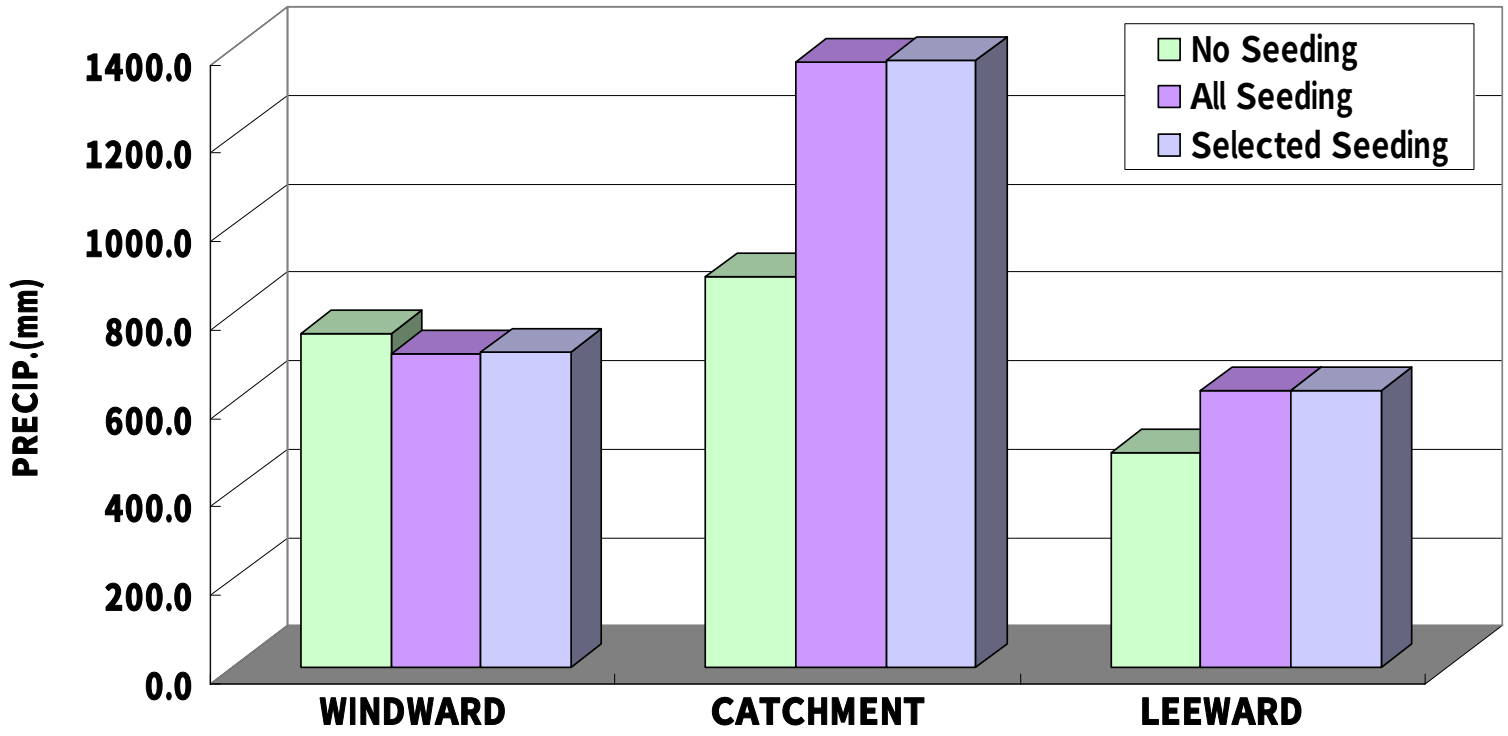


105402-105405 (～ 26min)



野外シーディング実験
(3) 過冷却雲水を含む雲にドライアイスペレットでシーディングをすることにより、雲中に大量の降雪粒子を生成することを確認

一冬を通したシーディング効果
（２Ｄ数値実験）



数値実験
(4) 理想的なシーディングにより、一冬の降雪量を～40%増加

渇水対策のための人工降雨・降雪に関する総合的研究
～人工降雨・降雪技術の高度化にむけて～

人工降雨・降雪による水資源確保・渇水対策効果の実証的評価

波及効果：水資源管理技術高度化、気象予測・気候モデル精度向上、渇水対策判断（科学的資料）、国際貢献（人工降雨技術）
アウトリーチ活動：公開シンポジウム（成果報告会）・セミナーなどを通じて意思疎通（安全性説明）をはかり、研究への理解を高める。

おわりに

- 気候変動に伴って今後ますます豪雨豪雪･少雨少雪などの異常気象が頻発することが懸念されている。
- 降水の人工調節は、日本の山岳性降雪雲のように条件を満たした雲では最大３０－４０％の増雪が見込める魅力的な技術である。
- 水不足･渇水を緩和するための，そして今後は水資源を管理するための一手法としてますます重要性が増してくるものと思われる。
- 世界的には水不足問題が深刻化することは間違いなく，そのような国々への技術支援の必要性も高まるであろう。
- 水資源管理技術の高度化に向けて
  - 水資源管理とその有効利用のために短期･長期の降水予報精度の向上とその利用
  - 水循環サイクルを少しだけ調節して人類がその恩恵を受ける気象改変あるいは気候改変に関する研究も