

モンゴルで経験した気象業務の四季—I 春と夏*

駒 林

誠**

モンゴルの首都ウランバートルに1年滞在して、モンゴル気象庁とモンゴル国立大学に勤務した。その間1999年7月の記録的な猛暑と2000年1月の厳冬と大雪に始まる雪害の両方を経験した。季節を追いながら気象庁本庁、気象台、測候所と大学気象学科の活動ならびにモンゴルの自然の一端を綴る。2報のうちその1として春と夏について記す。

1. はじめに

モンゴルは面積が日本の4.2倍、平均高度は1580 mの高原の国である。首都ウランバートルは東京の北西3000 kmに位置し、その緯度はサハリンの州都ユジノサハリンスクの少し北である。国際協力事業団から長期派遣専門家を委嘱され、平成11年3月26日に赴任して12年3月25日に帰国した。

2. モンゴル気象庁本庁

モンゴル気象庁(第1図)の正式名称はモンゴル気象水文環境監視庁、英語名をNational Agency for Meteorology, Hydrology and Environment Monitoring of Mongoliaと称し、頭文字を並べてNAMHEMと呼ぶ(ナムヘムと発音する)。本稿ではモンゴル気象庁と略記する。モンゴル気象庁はモンゴル自然環境省の外局である。モンゴル気象庁の機構図を第2図に示す。本庁の中に気象水文研究所があって現業と研究を同じ職員が同時に行う。人口の少ないモンゴル(260万人)では現業と研究に別の職員を当てる余裕がないからと言う。例えば技官として気候統計課長を、研究官として数値予報開発担当というふうに、本庁の情報計

算センターでは衛星を利用して植生、干ばつ、野火と森林火災の監視と解析をもする(Adyasuren *et al.*, 1996; Erdenetuya and Khudulmur, 1999)。

本庁ビル内には、モンゴルの気候変動と環境変化(Dagvadorj and Batjargal, 1999)に注目して協力する諸外国の温暖化、生物多様性、気候変動枠組条約関連のプロジェクトの事務所が並ぶ。オランダ気候計画、UNDP/GEF(地球環境ファシリティ)、WWF(世界自然保護基金)、GTZ(ドイツ技術協力公社)など。米国はドルノゴビ県ウランウール観測所で大気サンプルをスチールフラスコに採集し、米本国へ送って温暖化気体CO₂、CH₄、CO濃度を測定している。結果の報告会が定期的に気象庁講堂で開かれていた(Dagvadorj *et al.*, 1995)。

筆者の仕事は、我が国の無償資金協力によって進行中のモンゴル気象観測予報施設の整備計画を、側面から支援して技術協力することにあった。具体的には、新設されるドップラー気象レーダーの利用方法とそれに関連する雲物理学をモンゴル気象庁とモンゴル国立大学で講義した。

3. ウランバートルの春と夏

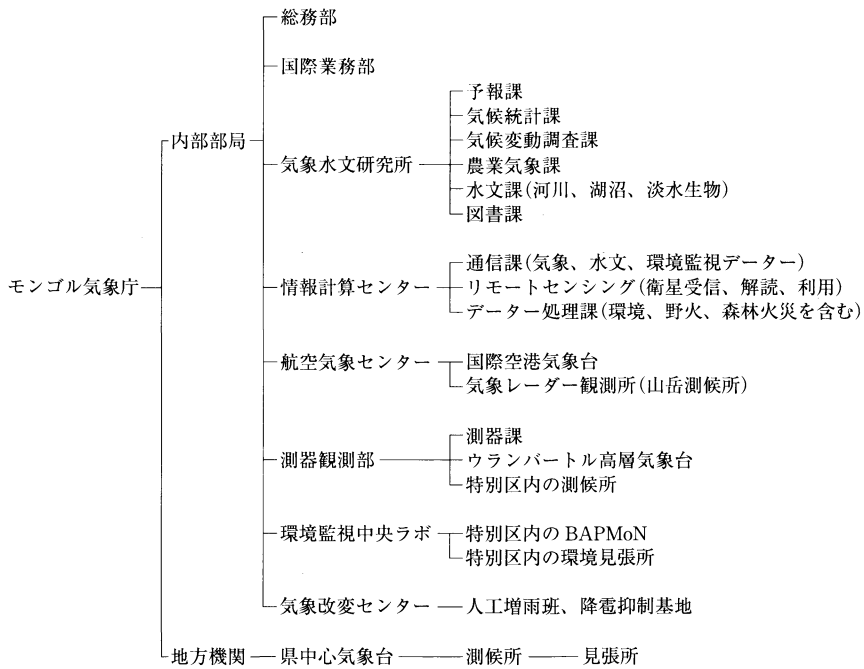
モンゴルの春に吹き荒れる砂嵐の発生頻度は、30年前に比較してモンゴル全土で2倍に、ゴビ地方で3倍になった(Natsagdorj and Namhai, 1993)。しかし1999年の春は雪と雨が多く、やっと5月22日に砂嵐、しかも雪まじりのを経験した(第3図)。モンゴルの風はゴビ地方を除き平均的には余り強くない(Tuvdendorj and Myagmarjav, 1985; Natsagdorj and Gombolkhuudev, 1999)というが、砂嵐が来るたびにビル全体が揺れ、気象庁の古い木枠の窓ガラスはそのつど数枚が音を立てて破損した。

夏至の日にウランバートル南方15 kmのボグド山塊(2257 m)に積乱雲がたって夏の到来を告げた(第4

* Four seasons experienced in meteorological service of Mongolia (I) Spring and Summer.

** Makoto KOMABAYASHI, (元モンゴル気象水文環境監視庁, 元モンゴル国立大学気象水文環境科学科).

© 2002 日本気象学会



第2図 モンゴル気象庁の組織図

図)。その頃まで雨が多く、市内の道路は至るところに水が溜まり、回り道しなければ車で歩いても出勤も帰宅も出来ない有り様だった。民族の祭典ナーダム(7月11～13日)の前日の雨を最後にパタリと雨が止んで、春から雪と雨の少なかったモンゴル北部のコムギ地帯と西部の遊牧草原の幾つかの県に干ばつの気配が顕在化することになった。ナーダム最終日、ウランバートルを流れるトール川の上流は満々と水をたたえていた(第5図)。

ナーダムが終わるとモンゴルに秋が来ると言われているのだが、その年は気温は上昇を続け、雨の多いはずの7月と8月に雨が少なかった。ウランバートルでは7月22日に気温38.1℃、表面土壌温度63.5℃に達し、過去31年の最高となった。日本人が多い北部の工業都市ダルハンでは7月24日に気温43.0℃、表面土壌温度67.5℃に達し、過去16年の最高となった。気象水文研究所の予報課が6時間ごとに作っている地上天気図を見ると、7月22日も7月24日もほぼ同じで、東シベリアから3本のフロントが長々と南西に伸び、その2本がモンゴルを通り、残りの1本が沿海州を経て中国奥地に伸びていた。モンゴルは全体的に低圧部になっていて、弱い南風が無風が目立った。

4. ハルホリンの降雹抑制基地

モンゴル気象庁の気象改変センター(WMO, 1996)は、気象庁が農民団体から直接あるいは県知事を通して依頼を受けて、有料で人工増雨又は降雹抑制の作業をする。干ばつの気配から全国各地から依頼が殺到し、気象改変センターの職員はその夏はナーダム休暇を返上して各地に出張した。春まきコムギは5月の頭に種をまき、9月中旬から10月上旬に収穫する。雹が降るとコムギの茎が折れたり穂が落ちたり、平均して1割から2割の減収になる。有料の抑制作業を依頼して引き合うかどうかは、コムギの価格、ヨウ化銀を入れた高射砲砲弾(中国またはロシアから輸入)の価格、抑制作業の効果および人件費を含む諸経費の市場経済で決まる。

ハンガイ山脈の北東側山麓は降雹の回数がコムギの生育期に13回ほどあり、何もしないで手をこまねいていると収穫が殆ど無くなることがある。そこで農民団体の依頼に応じて、ウブスハンガイ県のハルホリン(47°12'N, 102°50'E)、アルハンガイ県のトヴシュルリヒ(47°28'N, 101°53'E)とホトント(47°22'N, 102°29'E)では1991年からヨウ化銀を打ち上げて抑制作業をしている。気象改変センターは18門の高射砲と2台の移動用レーダー(波長3cm)を持っている。この高

射砲弾はプラスチック製で破裂したとき破片が発生しない。火薬の中に1グラムのヨウ化銀を含む。信管を調節して、低高度用の弾は発射7秒から9秒後に地上高度4 km から5 km で破裂する。中高度用は9～12秒後に6～8 km で、高高度用は13～17秒後に8～10 km で破裂する。

ウランバートルの西南西330 km にハルホリン村がある、別名をカラコルムと呼び元帝国の最初の都が存在した。ハルホリンなど本稿（その1、その2）にでる土地の気象官署と全県の県名と中心气象台を第1表に掲げる。県名と山脈と湖を第6図に示す（但し、河川は県境と重なるので省略した）。ハルホリンのコムギ畑に自走式散水パイプがある（第7図）。電を降らす積乱雲は雲頂高度8000～12000 m、オルホン川上流に発生し、南東進しながらハルホリンの平野に出てくる。オルホン川の豊かな水のおかげでコムギが生育する一方、同じオルホン川から立ちのぼる水蒸気から電が発生してコムギ畑を襲う。

降電抑制基地の高射砲は9000ヘクタールおよそ20×5 km の長方形のコムギ畑の両翼に2門づつ計4門配置されていた（第8図）。気象レーダー（第9図）は1980年代の旧ソ連製で直径1.5 m のアンテナを持ち、探知範囲60 km、水平距離15 km 以内に積乱雲が接近し、しかも移動方向がコムギ畑を指向しているとき、エコー強度30 dBZ 以上のエコー（同時刻に6～9カ所存在）それぞれの位置と高度を狙い定め、高度に応じた信管を選んで、ヨウ化銀弾を発射する。1回の降電抑制作業に平均して30～40発、多いとき140発、少ないとき15～20発を撃ち込む。作業回数は6、7、8月の3か月で少ないとき8回、多いとき15回であった。作業時刻は16時から21時が普通である。モンゴルの21時はまだ明るい。その夏1回だけ作業の終わりが23時になった。

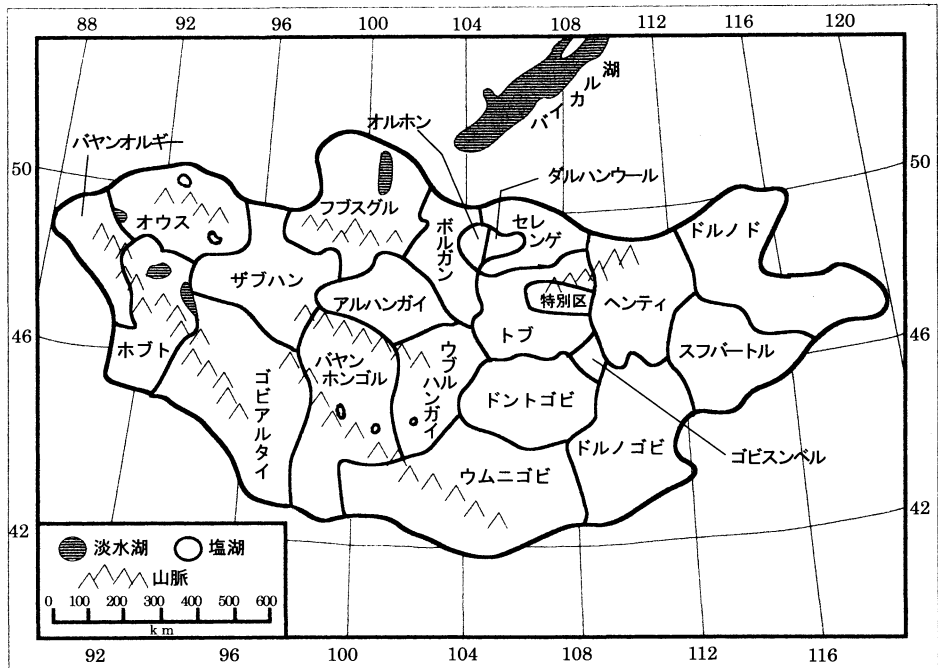
天気図のファックスをウランバートル、ノボシビルスク、北京から受信して（第10図）前々日に作業の可能性を広報し、前日には農民団体に招集をかけ、当日にはウブスハンガイ県の中心气象台であるアルバイヘル气象台高層課が正午にラジオゾンデを飛揚する。本来の飛揚時刻は8時と20時である。高射砲発射の前にウランバートルの航空管制センターにハルホリンの上空に飛行機がないことを確認する。基地には管制センターに直接に無線電話をかけることの出来る強力な無線通信車がある（第11図）。その向こうにずらりと並んだ予備の高射砲が見える。

5. 降電抑制の効果判定

効果判定の方法は単純明快である。コムギ畑に電または氷アラレが降ればその日は失敗、コムギ畑に雨または雪アラレだけが降ればその日は成功である。目標地域と対照地域を比較するとか、無作為発煙をするなどの複雑な統計的方法を使用しない。なお実験段階ではモンゴルと旧ソ連邦と共同研究を行って目標地域と対照地域を設け、無作為発煙を採用し、またヨウ化銀の環境への影響を評価して安全を確かめた（WMO, 1990）。実用段階の現在は、毎回抑制作業終了と同時に、直ちに農民と気象改変センター職員がコムギ畑に出て電の有無を調査する。雨だけか雨と雪アラレの交じった降水がコムギ畑を横切る。畑の外には電や氷アラレも降っている。依頼人である農民にも請け負った気象改変センター職員にも分かりやすい成功例である。多くの場合、このように成功する。たまたまコムギ畑の北東隅や南西隅に電がかかることがあると激しい議論になる。「一部とはいえ畑の中に電が降ったから明らかに失敗」と農民団体。「畑の外を見て下さい。あんなに電が降っている。畑がこれくらいですんだのは成功というべき」と改変センター。論戦にトップである農民団体の長と改変センターの所長は発言しない。黙って聞いている。No. 2の副団長と高射砲隊長が机を叩いて議論する。隊長は本庁の予報官であるが兵役時代に陸軍の高射砲隊の隊長だった。双方がどうしても譲らないときは、ルールを変更して判定基準を電の有無ではなく被害の有無に切り替える。電が落ちてもコムギに被害がなければ成功、被害があれば失敗とする。こうして、そのつど成功か失敗かを判定し、記録したレポートを作る。9月中旬にレポートを全部積み上げて、出来高払で農民団体が料金を支払う。

ところで、タネまき法による降電抑制には従来から議論のあるところであり、ここで若干の考察をしたい。

積乱雲に過剰にタネまきして過冷却水をすべて氷に変えるほど多量に発煙するのは無理である（Chisholm and English, 1973）とする見解は見渡す限りコムギ畑の続くカナダでは正しいかもしれない。しかし化学肥料を使わないモンゴルでは、コムギを1年作ると2年休耕して有機物と土壌水分の蓄えを図る。どのコムギ畑も2倍面積の草地（休耕地）に隣接している。休耕地にとって降電は水分供給の観点からむしろ歓迎される。積乱雲から電を完全に消滅せよと要求しているわけではない。ハルホリンの場合は、コムギ畑の幅5 km かもう少しの距離を通り過ぎる間だけ電が落ちなければ

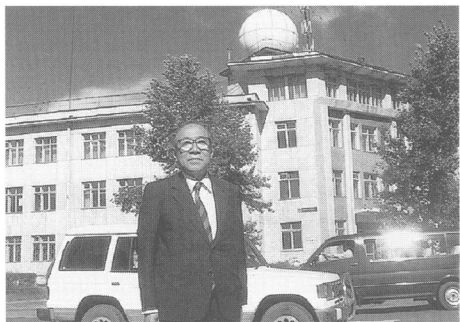


第6図 県名と山脈と湖。

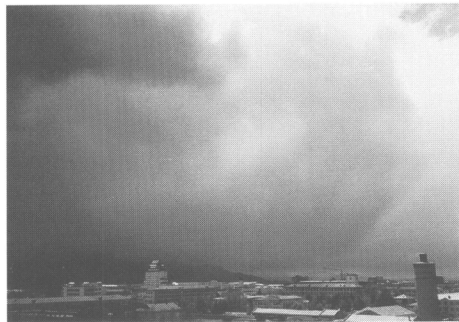
第1表 県名と若干の気象官署（太字は中心気象台）。

地点 番号	緯度 度分	経度 度分	高度 m	地点 番号	緯度 度分	経度 度分	高度 m
1. Arhangai アルハンガイ県				Arvaiheer 288	4616	10247	1813
Tovshruuleh 508	4728	10153		Har-Horin 330	4712	10250	1480
Tsetserleg 282	4727	10128	1691	13. Omnogovi ウムニゴビ県			
2. Bayan-Ulgii バヤンオルギー県				Dalanzadgad 373	4335	10425	1465
Ulgii 214	4856	8956	1715	14. Selenge セレンゲ県			
3. Bayanhongor バヤンホンゴル県				Suhbaatar 240	5014	10611	625
Bayanhongor 287	4608	10041	1859	15. Darhan-Uul ダルハンウール県			
Bayanbulag 275	4650	9805	2255	Darhan 244	4928	10559	706
Baidrag 561	4712	9939		16. Suhbaatar スフバートル県			
4. Bulgan ボルガン県				Baruun-Urt 305	4641	11317	981
Bulgan 239	4848	10333	1208	17. Tovi トブ県			
5. Orhon オルホン県				Zuunmod 290	4743	10657	1529
Erdenet 236	4903	10406	1300	18. Uvs オウス県			
6. Gobi-Sumber ゴビスンベル県				Ulaangom 212	4959	9205	939
Choir 298	4627	10813	1286	19. Ulaanbaatar ウランバートル特別区			
7. Gobi-Altai ゴビアルタイ県				Buyant-Uhaa 291	4751	10645	1271
Altai 277	4624	9615	2181	Ih-Surguur 295	4756	10656	1299
Bugat 268	4524	9422		Morin-Uul 293	4748	10638	1512
Tonhil 266	4619	9354	2222	Ulaanbaatar 292	4755	10652	1306
8. Dornod ドルノド県				Terelj 248	4759	10729	1532
Choibalsan 259	4805	11433	747	20. Hovd ホブト県			
9. Dundgobi ドントゴビ県				Hovd 218	4801	9134	1405
Mandalgovi 341	4546	10617	1393	21. Hovsgol フブスグル県			
10. Dornogobi ドルノゴビ県				Muren 231	4934	10010	1283
Sainshand 354	4454	11007	938	Hatgal 207	5026	10009	1668
11. Zavhan ザブハン県				Chandagat 222	4935	9746	1744
Bayan-Uul 221	4941	9622	1419	22. Hentii ヘンティ県			
Uliastai 272	4745	9651	1759	Binder 257	4837	11036	1049
12. Ovorkhangai ウブールハンガイ県				Underkhaan 304	4719	11038	1033

特別区の295はモンゴル国立大学, 248は BAPMoN 観測所。



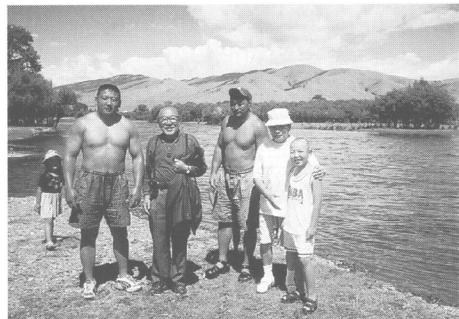
第1図 モンゴル気象庁。人物は筆者。



第3図 砂嵐。画面奥から手前へ接近。



第4図 夏至の日の積乱雲。



第5図 ナーダム最終日のトール川上流。モンゴル相撲の関取もくつろぐ。



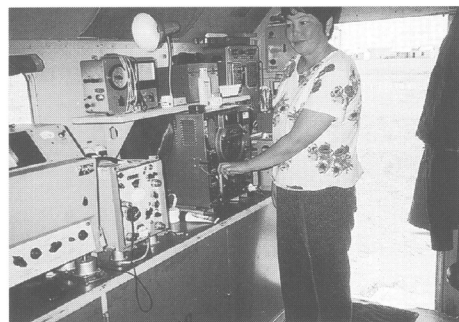
第7図 コムギ畑と自走式散水パイプ。



第8図 高射砲と筆者。



第9図 気象レーダー車。



第10図 気象予報車。



第11図 無線通信車。ずらりと予備の高射砲。



第12図 フブスグル湖の水文見張所のひとつ。



第13図 気象台屋上の高層観測アンテナ。左 GPS ゾンデ用、中央オメガゾンデ用。背景に気象無線通信の鉄塔とアンテナ。

ば十分である。膨大な量のタネまきを必要としない。

飛行機で積乱雲の30 dBZを貫通したところ電と氷晶が既にあって、いまさらヨウ化銀をタネまきしても著しい効果を期待出来ない (Bader *et al.*, 1992) とする見解は、極めて強力かつ定常的なスーパーセル型のストームの中にそういうことが起こっているならば正しいかもしれないが、オルホン川上流の積乱雲は熱雷あるいは気団雷に分類されるタイプで個々のセルに定常性が少ない。15 km の距離に入った瞬間に電が存在していたとしても、接近するうちにその電が降り尽くし、しかも畑の上空を通過する5 km かももう少しの間だけ新しく湧いたセルの氷晶の個数がヨウ化銀によって増加していて、雨と雪アラレになってくれれば十分である。

6. フブスグル県の気象台と測候所

モンゴルには大小合わせて3800本の河川と3500個の湖がある。そのうち74河川と10の湖でモンゴル気象庁

が水文業務をしている。水位、流量、水温を観測し、秋にいつ結氷するか、春にいつ氷が割れるかを予報する。淡水生物を観察し、環境化学課と組んで水質分析を支援する。

ウランバートルの北西600 km のフブスグル県ハトガル村にモンゴル最大の淡水湖フブスグル湖がある。ハトガル測候所は所長以下7人が勤務する。湖の水文見張所 (第12図) の立て看板には、水調査見張所、フブスグル湖、第1番点、ハトガル村、1962年10月12日設置、経度100度08分、緯度50度27分とあった。写真には見えないが量水標がすぐ近くにある。測候所の資料によれば南北の長さ136 km、東西の幅の平均20.3 km、平均の深さ139 m、最深262 m、面積は2760 km²で琵琶湖の4倍ある。体積は383.3 km³であり、46河川が湖に流入し、1本のエグ川 (セレンゲ川の支流) が流出する。フブスグル湖の生態系の調査も県中心気象台であるムレン気象台が担当している (Davaa, 1996)。ヒメマス、イトー、サケの一種、体長50 cm のタナゴ、体はコイで口ひげがナマズに似た魚の合計5種類の棲息が釣り人に知られている。1月から3月にかけて氷上交通が可能である。夏に貨客船が南北に運んでいた物資を、冬にはトラックが南北輸送する。湖の周囲に道路がないからである。凍結した氷面の上に積雪があるので、トラックの運転台の両側の扉を取り外して寒いのが扉なしで走る。タイヤのどれかひとつでも氷を割ったと感じたら、運転席から積雪の上へ飛び出すのだと言う。湖の油汚染を防ぐため、重油の氷上輸送が最近になって禁止された。結氷と融解の予報は気象台の仕事である。

ムレン気象台の環境化学課は、ムレン市の大気汚染を1日3回採集し、放射性降下塵を5日ごとに採集してその紙フィルターを本庁の環境監視中央ラボへ送

る。雨水と21の河川の水質を化学分析する。25か所の土壌について、工場汚染、石油汚染、放射能を調査する。また下水道の水質検査も引き受けている。本庁から毎月指示が来る。時にウランバートルの雨水や河川水を送ってくる。本庁はすでに分析結果を知っていて、気象台に分析させて気象台の化学分析の技術レベルを点検する。

ムレン空港は上空を民間航空の定期便が往来する定点であり、気象台高層課のラジオゾンデ観測が重要である。気象台屋上（第13図）にオメガゾンデ用のアンテナとGPS ゾンデ用（短い方）のアンテナがあった。背景に気象無線通信の塔とアンテナと町並みが見える。

7. まとめ

モンゴル気象庁の業務の中から春まきコムギを雹害から守る降雹抑制業務と、モンゴル最大の淡水湖であるフブスグル湖を見張る水文業務を紹介しながら、1999年のモンゴルの春と夏の印象を“海外だより”の形に綴った。

謝 辞

本稿ができた背景として国際協力事業団および同モンゴル事務所に深く感謝する。本稿の執筆にあたっては、モンゴル気象庁、同総務部、同国際業務部、同気象気候センターの協力を得た。我が国の気象庁ならびに（財）日本気象協会から激励と筆者の講義のために衛星資料その他の教材の支援を受けた。関係の方々に厚く感謝の意を表明する。

参 考 文 献

- Adyasuren Ts., Yu. Bayarjargal and M. Bayasgalan, 1996: Remote sensing monitoring for vegetation and drought, Papers in Meteorology, Hydrometeorological Research Institute, Ulaanbaatar, Special Issue, 188-199.
- Bader, J., W. A. Stahel and W. Schmid, 1992: Further results of Grossversuch IV: The effect of the first rocket launched into a potential cell, J. Appl. Met., 31, 700-707.

- Chisholm, A. J. and M. English, 1973: Alberta Hailstorms, Meteorological Monographs, Vol. 14, No. 36, American Met. Soc., 98pp.
- Dagvadorj, D. and Z. Batjargal, 1999: Response actions to address climate change problems in Mongolia, Papers in Meteorology and Hydrology, Institute of Meteorology and Hydrology, Ulaanbaatar, No. 21/2, 3-16.
- Dagvadorj, D., M. Munkhtsetseg, and B. Bujidmaa, 1995: Greenhouse gas monitoring and inventory in Mongolia, Proceedings on the Second Mongolia-China Symposium on Climate Change in Arid and Semi-Arid Region of the Central Asia, Sept. 12-16, 1995 Ulaanbaatar, 21-23.
- Davaa, G., 1996: Classification and changing trend of ecology of the Mongolian lakes, Papers in Meteorology, Hydrometeorological Research Institute, Ulaanbaatar, Special Issue, 120-125.
- Erdenetuya, M. and S. Khudulmur, 1999: Fire monitoring in Mongolia, Papers in Meteorology and Hydrology, Institute of Meteorology and Hydrology, Ulaanbaatar, No. 21/2, 61-68.
- Natsagdorj, L. and P. Gombolkhuudev, 1999: The wind energy resource assessment over the territory of Mongolia, Ibid., No. 21/2, 47-59.
- Natsagdorj, L. and A. Namhai, 1993: The latest climate changes in Mongolia, Proceedings of the First PRC-MONGOLIA Workshop on Climate Change in Arid and Semi-Arid Region over the Central Asia, May 8-11, 1993, Beijing, 51-54.
- Tuvdendorj, D. and B. Myagmarjav, edit., 1985: The Atlas of the Climate and Ground Water Resources in the Mongolian People's Republic, 73pp+14 explanatory notes, Institute of Meteorology and Hydrology, Ulaanbaatar.
- WMO, 1990: Register of National Weather modification Projects, Programme on Physics and Chemistry of Clouds and Weather Modification Research, WMP-No. 18, WMO/TD-No. 449, 103pp.
- WMO, 1996: Register of National Weather Modification Projects, Programme on Physics and Chemistry of Clouds and Weather Modification Research, WMP-No. 32, WMO/TD-No. 939, 51pp.