

放牧草地のシステム分析 (8)

誌名	草地試験場研究報告
ISSN	03850196
著者	塩見, 正衛
巻/号	35号
掲載ページ	p. 11-23
発行年月	1986年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



放牧草地のシステム分析

VIII. 気象の年次変動と草地生産の関係—西那須野の気象を例にして—

塩 見 正 衛

生態部 生態システム研究室

(昭和 61 年 6 月 10 日受理)

要 約

塩見正衛 (1986) : 放牧草地のシステム分析. VIII. 気象の年次変動と草地生産の関係—西那須野の気象を例にして—, 草地試研報 35 : 11-23.

草地の生産を的確に管理するためには正確な草地生産の予測が必要であり, それには正確な気象の予測を欠くことができない。しかしながら, 数ヶ月間にもわたる気象の予測は現段階ではほとんど不可能なため, それに代わる改善の方策を考えなければならない。そのためには過去の経験からいくつかの気象の類型を想定し, その中の最も起こりそうな気象の類型に対して生産現場の対策を立てる方策が考えられる。

栃木県西那須野町の草地試験場においては, 1944 年以来現在まで 42 年間の旬別日平均気温, 旬別積算降水量などの気象データが記録されて来た。本研究では, これらのデータから西那須野の気象の季節的・年次的変動の特徴および, それが放牧草地の生産に及ぼすいくつかの効果を明らかにすることができた。その概要は次の通りである。

- 1) 旬別日平均気温の年次間変動は, 5 月と, 8 月から 11 月までが小さく, 12 月から 4 月までと 6, 7 月に大きい。旬別積算降水量の年次変動は 5 月から 9 月までが大きく, 12 月から 3 月までは小さい。
- 2) 42 年間の牧草生育期間における旬別・月別日平均気温のデータに対し, 主成分分析および数値分類の統計的方法を適用して 6 つの気象の類型を作り, それぞれの気象条件の下における牧草生産の季節変化を塩見らが開発した草地生産の数理モデルを用いて計算した。このような計算結果は, 草地の生産予測に活用できるであろう。
- 3) 寒地型牧草からなる放牧草地の生産量は, 3 月と 4 月の気温によって大きく左右されるが, 西那須野の夏は比較的低温で降水量が多いため, 夏の気温や降水量が牧草生産の制限要因となることは稀である。

はじめに

生態システム研究室は, 1973 年に草地試験場内に造成された放牧草地において 1974 年以来日射量, 牧草の生産量, 放牧中の牛群による採食草量, 牛群の増体量を実測し^{1,3,6)}, それらのデータをもとにして, 放牧草地の生産を表わすシステムモデル⁷⁾の開発を進めて来た。高橋ら⁸⁾によると, この草地における牧草地上部の現存量は, 乾物で測定して平方メートル当たり 50 g から 900 g まで変化する。この変化をもたらす主たる要因のひとつは人工的な要因である施肥量や放牧強度であり, これらの要因の制御は可成りの程度に達成できる。他のひとつの要因は気象条件としての季節的变化と年次変化であるが, これらに対しては人為的制御が殆んど不可能である。しかしながら, このような要因にもとづく現存量の変化に対してさえ, 農業技術では何らかの手を打って,

作物や草地の生産を安定化しようと努めている。年ごとに小まめに施肥時期や施肥量を変更したり, 種々の雑草や病害虫の防除計画を立てるのはこのためである。

このような草地生産性の季節的・年次的変化に対応してうまく打つ手を準備するためには, 気象の予測, 特に牧草の生育期間における気象の予測は欠くことができないが, この予測こそ至難のわざである。気象の予測が不可能なとき, 改善の策として次の 2 つの方法を経験的に取って来た。ひとつは, 気象の予測値の代りに平年値の気象 (通常, 過去 30 年間の平均値) を用いる方法であるが, これはまれに起こる平年値から大きくはずれた気象条件下での生産の予測を不能にする欠点をもっている。特別に生産の予測を必要とするのは, まさにこのような変則的な年の場合が多い。他のひとつは, いくつかの気象のうつり変わりの類型を想定しておき, その中の 2-3 の, 近い将来に最も起こりそうな気象条件を取上げ, そ

のときのような生産制御を行なえばよいかを考える方法である。

本報においては、このうちの後者の方法を採用する。このためには牧草生育期の気象の推移をいくつかの類型に分類することが必要となる。以下では比較的長期間にわたって気象データが蓄積され、また前述のように10年以上の間、草地生産の調査が行なわれて来た西那須野の草地試験場のデータを用いてこれを試す。また、すでに開発したモデル⁷⁾を用いて想定したいくつかの気象の

推移の型(類型と呼ぶ)のもとにおける草地の季節変化を計算し、気象の種類の違いにもとづく草地生産の違いの比較を試る。

材料および方法

1) 気象データ

データは北緯 36°56′, 東経 139°58′ に位置し、標高 海拔 320 m にある栃木県西那須野町の草地試験場に設置されている気象観測装置で測定されたものを用いる。

第1表 a 旬別日平均気温の年次間変動, °C; 42年間のデータから計算

月	旬	平均気温	レンジ	分散	ゆがみ	とがり
1月	上	1.1	-2.0~4.6	2.34	0.01	2.39
	中	0.7	-2.1~4.2	2.21	0.23	2.50
	下	0.8	-3.8~4.2	3.53	-0.27	2.29
2月	上	0.9	-4.2~5.2	3.79	0.02	2.96
	中	1.5	-2.7~6.2	4.37	0.23	2.60
	下	2.1	-2.0~6.5	4.39	0.07	2.21
3月	上	3.1	-2.0~7.2	3.67	-0.28	3.00
	中	4.3	-0.1~8.1	3.79	-0.10	2.32
	下	5.9	2.1~8.4	2.63	-0.41	2.34
4月	上	8.6	4.8~12.1	3.46	-0.19	2.24
	中	10.4	5.6~15.5	3.74	0.22	3.21
	下	12.3	8.2~15.5	2.82	-0.12	2.68
5月	上	14.0	10.2~17.0	2.39	-0.40	3.02
	中	15.2	10.7~17.5	1.76	-0.96	4.65
	下	16.4	13.9~18.6	1.13	-0.03	2.32
6月	上	17.7	14.8~20.5	1.90	-0.34	2.39
	中	18.8	15.0~23.0	2.78	-0.09	3.03
	下	19.8	17.3~24.0	2.55	0.55	2.88
7月	上	21.2	18.4~25.0	3.17	0.23	2.04
	中	22.7	18.8~25.8	2.96	-0.21	2.53
	下	24.4	19.5~27.3	2.31	-0.90	4.36
8月	上	24.7	20.0~26.8	1.54	-1.36	5.95
	中	24.6	21.6~27.0	1.42	-0.60	3.20
	下	23.4	19.8~25.3	1.73	-0.78	2.95
9月	上	21.9	18.7~25.2	2.35	-0.05	2.29
	中	20.3	17.2~23.7	1.93	0.43	2.87
	下	17.9	15.5~21.0	1.58	0.25	2.92
10月	上	16.0	13.8~17.9	1.20	-0.23	2.07
	中	14.4	11.4~17.9	2.03	0.26	2.88
	下	12.6	10.0~14.9	1.54	-0.16	2.19
11月	上	11.0	7.8~13.7	2.33	-0.19	2.45
	中	8.4	5.5~11.6	1.70	0.16	2.93
	下	6.8	3.9~10.0	2.30	-0.02	2.14
12月	上	4.9	1.3~9.1	2.39	0.12	3.05
	中	3.4	-1.3~7.2	3.84	-0.31	2.53
	下	2.3	-1.3~6.0	3.36	0.33	2.06

第1表 b 月別日平均気温の年次間変動, °C; 42年間のデータから計算

月	平均気温	レンジ	分散	ゆがみ	とがり
1月	0.9	-2.4~3.5	1.51	-0.21	3.36
2月	1.5	-2.7~4.9	2.65	-0.07	3.08
3月	4.5	0.0~7.4	2.00	-0.66	3.93
4月	10.4	7.0~13.0	1.71	-0.43	3.29
5月	15.3	12.1~17.0	0.80	-0.66	5.64
6月	18.8	16.0~21.3	1.35	-0.21	2.91
7月	22.8	19.4~25.4	1.60	-0.43	3.08
8月	24.2	21.4~26.2	0.83	-0.85	4.46
9月	20.0	18.3~22.4	0.95	0.45	2.66
10月	14.3	12.3~16.1	0.76	0.21	2.31
11月	8.8	6.0~10.9	0.96	-0.15	3.35
12月	3.5	1.1~6.1	2.02	0.16	1.84

気象観測は1943年から始められ、その観測地点は場内のいくつかの場所を移動しているものと考えられるが明らかでない。

解析に利用できるデータは次の通りである。日最低気温と日最高気温の旬別・月別平均値に関しては1944年から1985年までの42年分、降水量の旬別・月別積算値に関しては1944年から1985年までの2年の欠測を除く40年分、全短波放射量の旬別・月別日平均値に関しては1974年から1985年までの12年分である。以下の解析では、旬別・月別日最低気温と最高気温の平均値を旬別・月別日平均気温として用いる。

2) 気象データの解析方法

上に与えられたそれぞれの気象データに対して、その年次間のバラツキを示す指数等の統計数字を計算する。気温のデータに対しては主成分分析と数値分類を行なう。数値分類の方法としては、分割最適化型クラスター分析法のうちの代表的な方法であるk-means法^{2,5)}を用いる。この場合、距離あるいはdissimilarityとしてマハラノビスの距離を用いる。

結果および考察

1) 気象データの年次間変動の要約

旬別・月別日平均気温、旬別・月別積算降水量、旬別・月別日平均日射量の年次間変動をレンジ、分散、変動係数、ゆがみ、とがりで表わす。

第1表 a に旬別日平均気温に関する計算結果を、同 b に月別日平均気温に関する計算結果を掲げる。42年間の平均値を見ると、1月中旬に最低を記録し、その値は0.7°Cに、また8月上旬に最高を記録して24.7°Cに達する。最も低い最低気温の旬別日平均値は1945年1月下旬に記録され-8.86°C、一方最も高い最高気温の旬別日平均値は1973年8月中旬に記録され33.0°Cに達し

た。42年間の旬別日平均気温のバラツキを分散で表わすと、5月中旬から6月上旬までの1ヶ月、8月上旬から10月中下旬までの約3ヶ月間は比較的小さい。一方、12月から4月までの約5ヶ月間と梅雨の頃の6月中旬から7月一杯、特に2月中下旬の旬別日平均気温の年次変動が大きい。

ゆがみは42年間のデータを度数分布表に表わすとき、その分布が左右対称かどうかを表わす指数で、負のとき左にすそをひく分布を、正のとき右にすそをひく分布を、また0のとき左右対称の分布を表わす。22の旬が負の符号を、20の旬が正の値を取っているから、全体としては度数分布は平均値の周りにはほぼ左右対称の分布をしていることが多いと考えられる。

とがりは3の値を取るとき正規分布のとがり方を、それより大きい値のときには正規分布よりも尖った分布を、また3以下のときは正規分布よりなだらかな分布をしていることを表わす指数である。3より小さい値は9月から2月までの6ヶ月間に多く現われ、3より大きな値は5月から8月までの4ヶ月に多く現われるようである。

以上の結果をもっと集約して表現して、月ごとにまとめた表が第1表 b である。その結果は第1表 a と殆んど同一である。

第2表 a に旬別積算降水量における40年間の変動の要約を示す。旬別に見て最も降水量の少ない旬の平均値は1月中旬に現われ、その値は10.8 mm である。10月から4月までの7ヶ月間には旬別積算降水量が0 mm のことも少なくない。一方最も降水量の多い旬は8月下旬に現われ、その値は113.9 mm に達する。最も高い値は1957年8月上旬に現われ、その積算降水量は489.5 mm に達した。年間の総降水量では、1950年には2620.2 mm、1957年には2198.7 mm を記録しているが、1973年は1016.0 mm、1984年は1116.2 mm というように

多い年の半分以下の年次も見られる。

旬別積算降水量の年次間変動(分散)は11月から3月まで比較的小さく、6月から9月までが大きな値を取る。特に8、9月に大きな値を取るのは台風の来襲の有無に依存し、6月下旬の大きな値は梅雨前線の活発さの年次変動の大きさにもとづいていると考えられる。

旬別積算降水量のゆがみはすべて正の値を取り、とがりも40句中28の旬が3より大きい。これは、旬別積算降水量の年次間度数分布が正規分布より右にすそをひき、

かつとがった分布になっていることを物語っていて、一般には、旬別積算降水量は、その平均値より低い値の所にピークをもち、かつ極めて多い降水量の年も存在するという型の分布になっている。特に、2月下旬、8月上旬、12月全体はその典型である。

第2表 b は同 a を月別に要約したものであるから、それは a と殆んど同じ傾向を示すが、ゆがみは0に近づき、とがりにも極端に大きな値が少なくなる。

第3表 a に旬別日平均全短波放射量の12年間のデー

第2表 a 旬別積算降水量の年次間変動, mm; 40年間のデータから計算

月	旬	降水量	レンジ	分散	変動係数	ゆがみ	とがり
1月	上	11.7	0.0~68.1	209.43	123.7	1.92	7.07
	中	10.8	0.0~59.8	206.26	133.0	1.62	5.05
	下	16.3	0.0~83.7	355.90	115.7	1.70	5.92
2月	上	17.0	0.0~75.0	378.62	114.5	1.32	3.80
	中	13.9	0.0~51.1	249.92	113.7	1.16	2.99
	下	18.6	0.0~137.9	719.68	144.2	2.74	11.53
3月	上	17.9	0.0~59.4	269.81	91.8	0.94	2.93
	中	23.7	0.1~75.3	386.63	83.0	1.00	3.32
	下	31.8	0.0~139.8	681.15	82.1	1.81	8.23
4月	上	39.0	0.3~168.5	1123.19	85.9	1.61	6.52
	中	44.2	0.0~138.0	1022.13	72.3	1.05	4.00
	下	37.8	0.0~137.1	882.70	78.6	1.49	5.40
5月	上	51.3	3.0~136.1	1122.79	65.3	0.54	2.63
	中	45.0	0.0~120.3	1005.46	70.5	0.39	2.16
	下	53.8	0.5~178.4	2012.06	83.4	1.15	3.90
6月	上	68.5	8.5~175.1	1431.48	55.2	0.63	2.96
	中	70.4	6.0~267.0	2213.69	66.8	1.90	8.54
	下	82.2	0.6~318.3	4092.52	77.8	1.64	6.08
7月	上	82.9	6.0~171.1	2089.77	55.1	0.22	2.16
	中	69.8	1.5~183.5	2013.30	64.3	0.63	2.83
	下	76.3	2.7~300.7	5432.51	96.6	1.12	3.50
8月	上	71.9	1.1~489.5	9229.15	133.6	2.65	10.84
	中	69.2	6.0~309.6	3290.77	82.9	2.26	9.16
	下	113.9	11.6~322.1	5611.75	65.8	0.80	3.10
9月	上	79.4	5.9~253.2	3597.90	75.5	0.90	3.13
	中	102.1	5.7~388.0	8456.54	90.1	1.20	3.75
	下	70.6	0.8~224.1	3290.23	81.2	0.74	2.58
10月	上	52.9	0.0~194.4	1359.87	69.7	1.56	6.84
	中	43.4	0.0~137.9	1488.88	88.9	0.96	3.01
	下	43.1	0.0~145.7	1230.62	81.4	1.24	4.35
11月	上	21.5	0.0~114.0	661.72	119.6	1.85	6.56
	中	26.3	0.0~118.6	850.44	110.9	1.52	4.90
	下	23.4	0.0~133.0	730.71	115.5	1.94	7.68
12月	上	14.8	0.0~110.1	511.73	152.8	2.53	9.77
	中	12.0	0.0~79.5	268.71	136.6	2.33	9.15
	下	15.7	0.0~133.3	565.75	151.5	3.21	15.67

第2表 b 月別積算降水量の年次間変動, mm; 40年間のデータから計算

月	降水量	レンジ	分散	変動係数	ゆがみ	とがり
1月	38.7	0.9~103.1	750.98	70.8	0.89	2.88
2月	49.5	4.1~190.4	1698.93	83.3	1.47	5.23
3月	73.4	8.5~146.5	1128.95	45.8	0.21	2.12
4月	121.1	48.8~232.9	2253.59	39.2	0.47	2.49
5月	150.2	49.2~340.0	4746.25	45.9	0.93	3.40
6月	221.1	73.4~487.4	6651.47	36.9	1.06	4.30
7月	229.0	26.5~457.1	8827.46	41.0	0.24	2.55
8月	255.0	71.0~678.3	16145.38	49.8	1.21	4.58
9月	252.1	48.8~472.0	13538.01	46.2	0.23	2.05
10月	112.5	16.2~285.9	2855.33	47.5	1.11	4.43
11月	71.3	3.9~234.0	2275.51	66.9	1.50	6.14
12月	42.5	0.0~173.6	1442.15	89.4	1.80	6.74

タの要約を掲げる。4月、5月に最大に達し、冬期間に低い値を取る。ここではデータ数が12年分しかなく、分散は十分安定した値とは言い難いが、4月中下旬から9月下旬まで大きな値を示し、12、1、2月は小さく、安定しているようである。第3表 b は、同 a を月別に要約したものである。

2) 牧草生育期間における月別日平均気温の季節的・年次的変動

西那須野における牧草地上部の生育期間は通常3月から11月までと考えられ、4月中旬から11月上旬まで放牧が行なわれる。これらの3月から11月までの9ヶ月の月別日平均気温を変数とし、1944年から1985年まで42年間のデータを用いて主成分分析を行った。降水量のデータも利用することができるが、それも加えると変数の数が2倍の18にもなり、ここで行なう主成分分析には変数の数が多くなり過ぎること、および西那須野においては、牧草生育期間の降水量には比較的めぐまれており、降水量が牧草生育の制限要因になることは稀なため、平均気温だけを用いた。ただし、7月下旬から8月中旬までの1ヶ月間には、月に50mm以下の降水量のこともあって、これは牧草の生育に悪い影響を及ぼすが、このような少雨の夏は概して暑く、降水量を変数として用いなくても気温で代用可能であろう。

第4表 a に月別日平均気温相互間の相関係数を掲げる。理由は明確でないが正の相関係数が多い。しかし、それらの値で0.3を越すものは少ない。牧草の生育期間全体を通じて、比較的暖い年や冷涼な年というようなゆるやかな傾向が見られるためであろう。

第4表 b に各主成分に対応した固有値を掲げる。第3主成分までが固有値は1より大きく、そこまでの累積寄与率は61.6%を占めるから、第1、2、3主成分について解釈を行なう。第4表 c に固有ベクトルを示す。

この表を見ると、第1主成分は牧草生育期間、特に8月を除く期間の月平均気温の高低に関与していることが明らかである。第2主成分は、7、8月が正の大きな値を取っているから、夏季の月平均気温に関与していると考えられるが、4月や6月の係数も大きな値を示すから、このような解釈は若干のあい昧さを含んでいる。第3主成分は3、4月が寒く、6、7月が高温の年に高い値を取る。

以上のような性質をもつ3つの主成分を軸とする図に42年分の主成分の値をプロットしたのが第1図 a, b で、この図からいくつかの特徴的な年次を拾うと次のようになる。

① 1944年：牧草生育期間の気温は全般的に低く、特に3、4月は低温で経過。② 1945年：全般的に低温で、特に1、5、7、8月が低温。③ 1947年：7、8月は高温で、他は低温。④ 1950、'61年：全般的に高温で経過。⑤ 1954、'83年：3、4月は暖かく6、7月に低温。⑥ 1956年：7、8月は低温。⑦ 1964、'73年：夏高温。⑧ 1976、'80年：夏低温。⑨ 1978、'84年：3、4月低温で夏に高温。⑩ 1979年：全般的に高温であるが、特に3、4月に高く、夏はやや低温。⑪ 1981年：全般的に低温。⑫ 1973年：1、2月と7、8月が高温。⑬ これ以外の年の気温は中庸。

牧草生産にとっては、一般に3、4月に高温で、7、8月に高温にならない年が好ましいから、⑨ 1978、'84年のような気温の推移が見られる年には、年間の牧草生産量が低下するものと考えられる。実際、高橋ら⁹⁾の報告によると1978年3月20日から11月15日までの1次純生産は、1974年から1981年の平均値に対して70%にしか達しなかった。また、小山ら¹⁰⁾の報告から計算すると1984年の1次純生産は56.2%にしか達していない。それに対して、例えば1977年は図のプロットから明ら

かなように、第1主成分の値が大きく、第2、第3主成分の値が比較的小さい値を取っているから、春の到来が早く夏が涼しい年と云える。この年の1次純生産は上記平均値の133%を記録している(高橋ら⁶⁾)。

3) 旬別・月別日平均気温を用いた牧草生育期間の気象の類型化

1944年から1985年まで42年間の旬別ないし月別日平均気温による年次の分類を数値分類の方法で行なった結果を第5表に示す。降水量に関する変数は、主成分

析の項で述べた理由で牧草の生育にとって殆んど制限要因にならないと考えられたので用いなかった。

第5表aは1月から12月までの月別日平均気温を用いて42年間を6分類した結果である。6つの類型に分けた理由は、 $\sqrt{(\text{データ数})}$ 程度の分類数が良いという通説による。この分類結果は、12ヶ月を変数としているから、必ずしも牧草の生育期間のみに対応したものではないが、冬作物を含む生育を考えるとときには役立つと考えられる。表の右はじに掲げた42年間の平均値と、

第3表a 旬別日平均全短波放射量の年次間変動, cal/m²; 12年間のデータから計算

月	旬	日射量	レンジ	分散	変動係数	ゆがみ	とがり
1月	上	189.1	165.0~224.4	314.86	9.4	0.75	2.48
	中	205.0	164.4~228.9	471.07	10.6	-0.60	1.84
	下	221.7	185.9~253.5	599.14	11.0	-0.11	1.65
2月	上	233.6	191.4~273.5	559.19	10.1	-0.09	2.22
	中	254.4	226.4~306.7	603.55	9.7	0.81	2.48
	下	263.4	197.0~350.4	2055.24	17.2	0.09	2.19
3月	上	283.8	228.3~332.2	816.61	10.1	-0.20	2.49
	中	328.2	261.1~387.9	1620.11	12.3	-0.13	1.76
	下	331.4	248.6~396.6	1795.05	12.8	-0.37	2.31
4月	上	343.7	308.7~394.7	617.77	7.2	0.39	2.37
	中	338.5	223.3~409.2	3254.20	16.9	-0.41	2.18
	下	355.5	235.5~481.1	6524.23	22.7	0.13	1.69
5月	上	379.8	279.5~462.2	3449.02	15.5	-0.24	1.68
	中	391.2	299.8~504.6	4322.50	16.8	0.27	1.71
	下	398.8	325.9~470.3	3079.44	13.9	-0.14	1.18
6月	上	344.3	260.6~483.9	4572.06	19.6	0.53	2.23
	中	281.2	156.0~383.8	3244.08	20.3	-0.27	3.33
	下	247.4	186.0~318.0	2286.37	19.3	0.14	1.38
7月	上	268.2	119.2~395.9	6441.33	29.9	-0.10	2.15
	中	280.4	147.6~397.9	5467.03	26.4	-0.42	2.14
	下	344.0	208.7~493.0	5447.40	21.5	0.06	2.76
8月	上	345.4	254.3~409.0	2527.60	14.6	-0.72	2.08
	中	301.3	157.2~415.5	4965.30	23.4	-0.10	2.74
	下	272.5	183.4~403.4	5937.00	28.3	0.51	1.80
9月	上	267.1	204.5~394.9	2894.20	20.1	1.03	3.41
	中	227.2	184.3~283.9	1330.85	16.1	0.36	1.52
	下	224.4	106.9~358.9	4612.98	30.3	0.12	2.54
10月	上	237.1	183.9~334.2	1363.58	15.6	1.33	4.79
	中	214.9	162.8~259.9	1011.03	14.8	-0.23	1.87
	下	238.0	176.0~297.5	955.01	13.0	-0.05	2.90
11月	上	198.8	146.8~275.5	1458.12	19.2	0.54	2.21
	中	181.4	145.0~222.0	947.49	17.0	0.25	1.27
	下	172.3	93.3~236.3	1544.83	22.8	-0.19	2.56
12月	上	178.0	146.7~197.7	211.51	8.2	-0.60	2.57
	中	171.6	149.8~189.1	124.42	6.5	-0.22	2.41
	下	172.7	137.8~195.9	338.25	10.6	-0.66	2.07

第3表 b 月別日平均全短波放射量の年次間変動, cal/m²; 12年間のデータから計算

月	日射量	レンジ	分散	変動係数	ゆがみ	とがり
1月	205.8	174.8~224.8	285.22	8.2	-0.72	2.00
2月	249.5	225.5~294.9	504.09	9.0	0.70	2.10
3月	315.0	270.6~345.0	612.77	7.9	-0.47	1.96
4月	345.9	305.9~394.2	793.91	8.1	0.42	2.20
5月	390.3	321.1~450.6	1086.09	8.4	-0.23	3.00
6月	291.0	241.1~362.1	1391.48	12.8	0.54	2.10
7月	299.1	212.5~365.0	1859.24	14.4	-0.22	2.61
8月	305.3	238.2~384.4	2347.76	15.9	0.31	1.57
9月	239.6	197.9~298.5	767.30	11.6	0.82	2.92
10月	230.3	212.9~260.8	238.80	6.7	0.62	2.03
11月	184.2	140.5~219.2	442.04	11.4	-0.29	2.75
12月	174.1	159.2~183.5	57.86	4.4	-0.60	2.01

第4表 a 月別日平均気温の相関係数; 42年間のデータから計算

月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
3月	1.000	0.329	0.030	0.093	0.011	-0.212	0.208	0.472	0.132
4月	0.329	1.000	0.306	-0.168	0.171	0.199	0.404	0.244	0.143
5月	0.030	0.306	1.000	0.213	0.271	0.078	0.310	0.284	0.287
6月	0.093	-0.168	0.213	1.000	0.279	-0.170	-0.004	0.350	0.308
7月	0.011	0.171	0.271	0.279	1.000	0.313	0.209	0.040	-0.038
8月	-0.212	0.199	0.078	-0.170	0.313	1.000	0.089	-0.116	0.006
9月	0.208	0.404	0.310	-0.004	0.209	0.089	1.000	0.271	0.423
10月	0.472	0.244	0.284	0.350	0.040	-0.116	0.271	1.000	0.478
11月	0.132	0.143	0.287	0.308	-0.038	0.006	0.423	0.478	1.000

第4表 b 主成分の固有値

	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	2.604	0.289	0.289
第2主成分	1.604	0.178	0.468
第3主成分	1.332	0.148	0.616
第4主成分	0.981	0.109	0.725
第5主成分	0.747	0.083	0.807
第6主成分	0.655	0.073	0.880
第7主成分	0.420	0.047	0.927
第8主成分	0.352	0.039	0.966
第9主成分	0.306	0.034	1.000

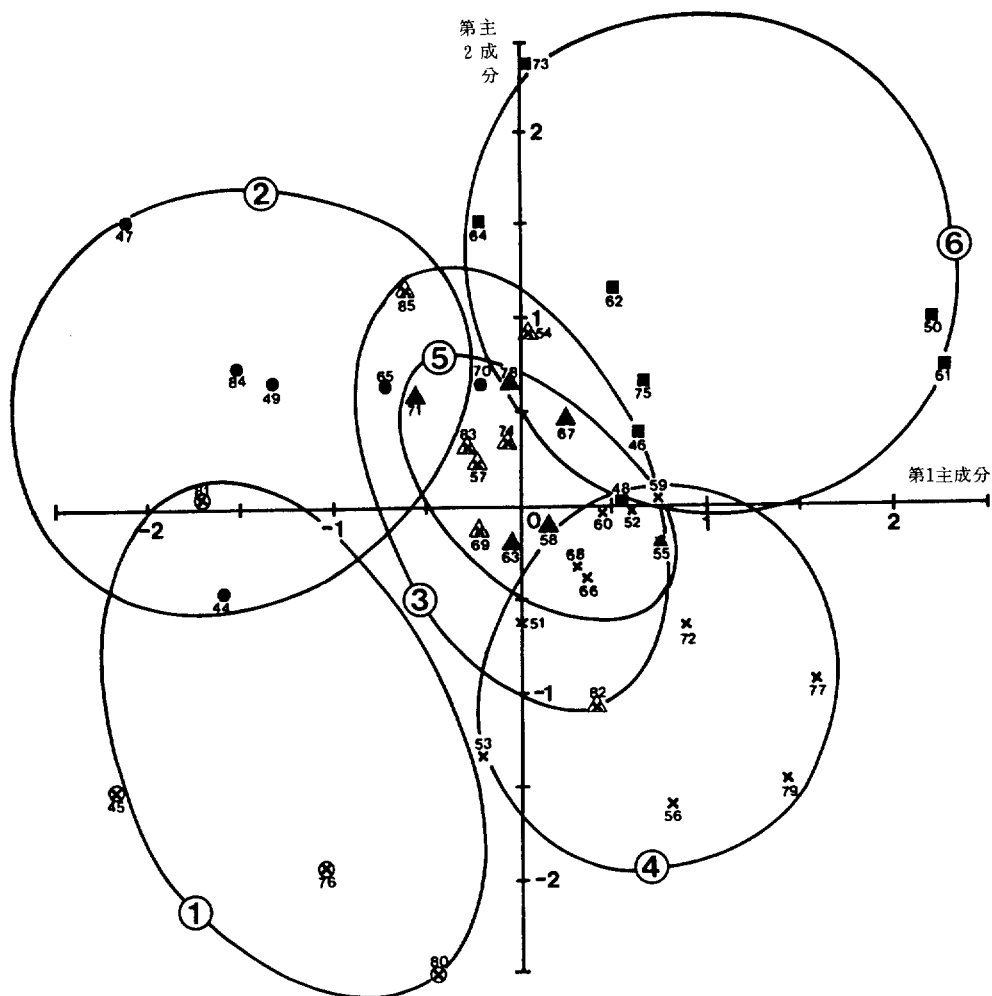
第4表 c 主成分の固有ベクトル

主成分	1	2	3	4	5
3月	0.311	-0.268	-0.396	0.522	0.169
4月	0.344	0.325	-0.429	0.160	-0.144
5月	0.373	0.187	0.220	-0.125	-0.685
6月	0.241	-0.310	0.616	0.180	0.087
7月	0.204	0.404	0.423	0.496	0.048
8月	0.025	0.608	0.094	-0.091	0.579
9月	0.411	0.203	-0.182	-0.264	-0.040
10月	0.457	-0.299	-0.030	0.064	0.233
11月	0.409	-0.165	0.097	-0.571	0.285

各類型ごとの平均値を比較して、各類型のもつ特徴を摘要の欄に記入した。たとえば、類型2は6月から9月までを除いて低い気温の年で、1944, '45, '47, '84年の4ヶ年がこの類型に属している、解析に用いた変数の種類は少し異なっているが、前節の第1図の解釈とよく一致している。類型1は42年間の平均値に非常に近い気温の年次を含んでおり、また類型6は1年を通じて高温の年次を表わしている。

第5表 b に牧草の生育期間である3月から11月までの9ヶ月の月別日平均気温を変数として分類した結果を

示す。各類型の特徴は摘要に記入してある。この分類結果は主成分分析の結果(第1図)とよく一致した部分があり興味深い。この分類をより細かく見るために、3月から10月までの旬ごとの日平均気温を変数として分類した結果を第5表 c に示す。この分類に用いた変数の数は24個であるが、第3表 a で見たように、互いに相関の小さい変数を24個も用いて僅か42個のデータの組を分類するのは好ましいことではない。しかし、旬ごとの気温に対応した分類を行なうにはこれ以外の方法は考えられないのでこの計算を実行した。



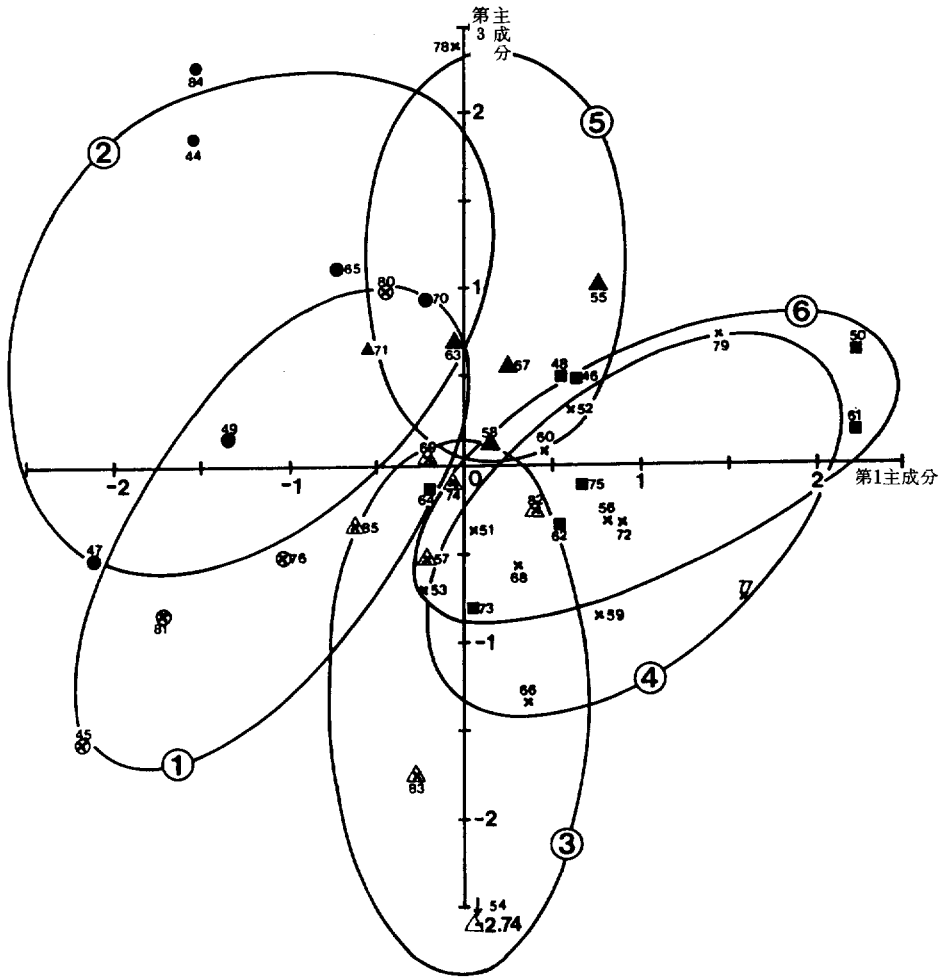
第1図 3月から11月までの牧草生育期間の月平均気温を用いて行なった主成分分析の結果
 a. 第1, 第2主成分のスコアの散布図; 図中の数字は西暦年次の下2桁
 ○ 印内の番号は後述の第5表bの分類結果を示す。

第5表bとcの年次の、2つの分類結果の一致性を第5表dに示す。全体的に見るとある程度の一致は見られるが完全ではない。塩見・酒井⁹⁾が考案した分類結果の一致性を示す指数を計算すると、もし両者の分類結果が完全に一致したときには0.9386になる値は、第5表dにおいては0.3732になった。

このような気象データによる年次の分類・類型化には、その類型数や各類型の特徴や規準を事前に定めておくことができないから、2つの分類結果が完全に一致する必要はなく、都合に合わせて選択して用いるべきであろう。

4) 気象の6つの類型を用いた放牧草地の予測

第6表は前掲の第5表cに示した旬別日平均気温の季節変化の6つの類型を与えたとき、放牧草地の牧草地上部現存量(乾物)の季節変化の様子をShiyomi et al.⁷⁾の提案した放牧草地のシステムモデルにより算出したものである。このモデルにおいては、低温や高温の条件では牧草の光合成能が低下し、また牧草の呼吸量は気温によって変化するし、光合成曲線は光の量に依存するというようなさまざまな仮定が組込まれている。第6表に示したシミュレーションにおいては、いずれの計



第1図 (つづき)

b. 第1, 第3主成分のスコアの散布図; 説明は本文参照; 図中の数字は西暦年次の下2桁
○印内の番号は後述の第5表bの分類結果を示す。

算においても放牧は4月10日に2ヘクタール当たり7頭で計1,837kgの体重の牛群を10月30日まで連続して放牧し、さらにその間には1頭当たり106.4kgの体重が増加するとし、1日1頭当たりの採食量(乾物)を牛の体重(生体)の2.5%と仮定した。

第6表から明らかなように、3月1日に69.5g/m²の牧草地上部で出発すると、4月上旬までは類型No. 2, 3, 5の生育の遅れが目立つ。しかし、No. 2と5は4月30日には総平均と較べて全く遜色はなくなり、No. 3のみその後も7月下旬まで小さい現存量が続く。このように春の低い気温は牧草の生育初期の発育に大きな遅れをもたらすが、10年に1度起こるかどうかの4月下旬

や5月上旬まで続くような低温でない限り、4月下旬には牧草地上部現存量は平年並みになる。類型No. 6では夏が高温になり、牧草はその間総平均の量と較べて若干少なくなる。これは牧草の呼吸による消費が高温の下で多くなることと、高温下では光合成自体も減少することのためである。このような若干の差異は見られるものの、その差異は6月以降には西那須野の気象条件下ではほとんど取るに足りない程度になってしまう。

月ごとに、月別日平均気温が低・中・高温の3段階に分けられるとするなら、3月から10月までの8ヶ月を考えると3⁸=6,561通りの気象変化の類型ができる筈であるが、植物はそのように多くの類型に異なった反応を

第5表 a 月別日平均気温を用いた年次の分類

類型 No 年 数 年 次 (西暦下2桁)	1	2	3	4	5	6	総平均
	13	4	5	5	6	9	
	46, 52, 56, 62, 64, 66, 67, 69, 73, 74, 75, 83, 85	44, 45, 47, 84	49, 65, 70, 76, 80	54, 57, 68, 77, 82	51, 53, 63, 71, 78, 81	48, 50, 55, 58, 59, 60, 61, 72, 79	
1月	1.0℃	-1.0	1.3	0.9	0.4	1.5	0.9
2	1.4	-1.3	2.2	1.1	0.9	3.0	1.5
3	4.5	2.4	3.1	5.0	5.2	5.3	4.5
4	11.3	8.3	9.1	10.9	10.1	10.8	10.4
5	15.4	13.8	15.5	15.3	15.0	15.7	15.3
6	18.7	18.2	18.9	17.8	19.1	19.4	18.8
7	22.7	22.2	22.0	21.8	23.5	23.7	22.8
8	24.6	24.6	23.0	24.0	24.2	24.1	24.2
9	20.2	19.2	19.6	20.5	19.0	20.7	20.0
10	14.2	13.3	13.9	14.3	14.1	15.1	14.3
11	8.7	8.1	8.3	10.1	8.0	9.2	8.8
12	2.5	1.6	2.7	5.2	4.4	4.6	3.5
摘 要	4月がやや高温, 12月がやや低温の他は 平年並み	6月から9月 が平年並みの 他は低温に推 移	1月から3月 まで高め, 5, 6月は平年並 みで, 4月お よび7月以後 はやや低め	6, 7, 8月低 温; 11, 12月 は高温	1, 2月やや低 温; 9月低温; 他は平年並み	8月を除き全 般的に高温で 推移	

第5表 b 牧草生育期間の月別日平均気温を用いた年次の分類

類型 No 年 数 年 次 (西暦下2桁)	1	2	3	4	5	6	総平均
	4	6	7	11	6	8	
	45, 76, 80, 81	44, 47, 49, 65, 70, 84	54, 57, 69, 74, 82, 83, 85	51, 52, 53, 56, 59, 60, 66, 68, 72, 77, 79	55, 58, 63, 67, 71, 78	46, 48, 50, 61, 62, 64, 73, 75	
3月	4.3℃	2.2	4.2	5.9	4.8	4.1	4.5
4	9.5	8.4	11.0	10.4	10.4	11.9	10.4
5	14.0	15.1	15.6	15.0	15.6	15.8	15.3
6	18.6	18.3	17.8	19.0	19.8	19.0	18.8
7	21.4	22.9	21.4	22.7	24.1	23.8	22.8
8	22.5	24.5	24.5	23.9	24.3	24.7	24.2
9	19.0	19.6	19.9	20.4	19.5	20.9	20.0
10	13.9	13.4	14.1	15.0	13.9	14.5	14.3
11	7.6	8.2	9.0	9.3	8.5	9.0	8.8
摘 要	全般的に低温 で推移; 特に 8月に低温	3, 4月低温, 10, 11月やや 低温	6, 7月低温; 他は平年並み	3月高温; 秋やや高 めに推移	6, 7月高温, 秋やや低温	4月から10月 まで高温に推 移; 特に7月 高温	

示さないものと思われる。植物、特に西那須野の寒地型牧草にとっては、春の気温の高低は極めて重要な意味を持つが、その後の気温にはあまり敏感でない。

放牧草地における牧草生産などの飼料作物に限らず、すべての、施設的でない農業においては、生物の生長モデル、気象予測および生物量測定技術の3者凡てがそ

ろって初めて生産の予測が可能になる。現段階においてはこのいずれにもいくつかの困難を抱えてはいるが、本報告はそれを解決するため一手法である。

謝辞：本報告に対して山地支場長宇田川武俊博士および編集委員の方々から貴重な御意見をいただいた。

第5表c 牧草生育期間の旬別日平均気温を用いた年次の分類

類型 Na	1	2	3	4	5	6	総平均
年次 (西暦下2桁)	8	4	3	9	5	13	
	51, 53, 66, 74, 76, 79, 80, 82	45, 47, 54, 57	49, 70, 84	56, 58, 60, 68, 69, 72, 77, 81, 83	44, 63, 65, 71, 78	46, 48, 50, 52, 55, 59, 61, 62, 64, 67, 73, 75, 85	
月 旬	℃						
3 上	4.7	1.8	-0.1	3.2	1.8	3.5	3.1
3 中	5.4	3.3	1.3	5.6	3.4	4.1	4.3
3 下	5.5	6.2	2.8	7.2	5.8	5.8	5.9
4 上	8.4	9.2	6.1	7.8	7.1	10.3	8.6
4 中	9.3	11.1	8.4	10.7	9.5	11.4	10.4
4 下	12.2	10.9	11.4	13.4	10.8	12.8	12.3
5 上	13.4	12.4	14.5	14.6	12.7	15.1	14.1
5 中	14.9	14.0	15.6	14.7	16.2	15.5	15.2
5 下	17.0	15.5	17.0	16.0	16.6	16.4	16.4
6 上	18.4	15.7	17.0	17.9	17.9	17.9	17.7
6 中	19.1	16.8	18.8	18.4	19.8	19.0	18.8
6 下	20.2	18.1	18.5	19.7	21.5	19.9	19.8
7 上	19.8	20.2	19.9	21.1	22.7	22.1	21.2
7 中	21.1	20.5	23.8	22.6	23.5	23.8	22.7
7 下	24.1	23.1	25.3	24.3	23.8	25.1	24.4
8 上	23.6	24.6	24.4	25.0	25.4	24.9	24.7
8 中	24.1	25.2	25.0	24.0	24.5	25.1	24.6
8 下	23.2	23.9	23.5	22.1	23.8	24.0	23.4
9 上	21.7	20.6	22.0	22.6	19.8	22.8	21.9
9 中	19.6	21.0	20.0	20.3	19.5	20.8	20.3
9 下	17.5	17.7	18.0	18.1	17.7	18.1	17.9
10 上	16.4	15.2	14.8	16.3	14.9	16.6	16.0
10 中	15.8	13.1	14.9	14.0	13.0	14.6	14.4
10 下	13.0	12.4	11.4	12.7	13.0	12.4	12.6
摘要	3月上中旬高温; 7, 8月低温; 10月中下旬高温	3月上中旬, 4月下旬から8月上旬まで低温; 他は平年並み	4月下旬まで極めて低温; 他はほぼ平年並み	3, 4月やや高め; 他は平年並み	5月上旬まで低め; 5月中旬から7月中旬まで高温; 8月下旬から再び低温	全般的に高めで推移; 特に4月, 7月, 9月に高温	

第5表d 放牧シーズンの旬別日平均気温を用いて計算した分類結果と月別日平均気温を用いて計算した分類結果の一致度 (第5表bとcから計算; 表中の数字は西暦年次の下2桁)

類型 Na	月別日平均気温による分類結果						
	1	2	3	4	5	6	
旬別日平均 気温による 分類結果	1	76, 80		74, 82	51, 53, 66, 79		
	2	45	47	54, 57			
	3		49, 70, 84				
	4	81		69, 83	56, 60, 68, 72, 77	58	
	5		44, 65			63, 71, 78	
	6			85	52, 59	55, 67	46, 48, 50, 61, 62, 64, 73, 75

第6表 第5表cの旬別日平均気温の季節変化のもとにおける牧草地上部現存量の変化のシミュレーション g(乾物)/m²; 本文参照

第5表cにおける 類型 No	1	2	3	4	5	6	総平均
3月 1日	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5	69.5
	11日	91.8	58.4	59.5	93.1	58.4	93.2
	21日	111.9	62.3	44.9	113.5	64.8	114.6
	31日	124.0	96.3	43.5	163.7	91.6	126.5
4月 10日	163.8	154.1	75.2	193.6	145.4	167.8	168.7
	20日	161.4	155.3	109.9	173.7	153.3	162.5
	30日	152.7	150.3	129.0	155.7	150.5	152.3
5月 10日	184.3	185.3	175.3	183.4	185.1	181.3	183.4
	20日	221.5	222.3	213.1	221.5	219.5	220.5
	30日	278.5	279.7	262.8	286.2	274.3	280.5
6月 9日	339.4	346.5	323.6	346.9	336.2	338.2	342.4
	19日	407.3	422.3	391.6	416.7	402.3	411.4
	29日	360.9	378.6	353.1	369.4	353.4	364.9
7月 9日	232.6	241.3	231.2	234.5	223.7	229.0	232.4
	19日	196.1	200.9	191.5	193.9	186.0	192.7
	29日	180.7	185.0	174.5	178.1	173.8	177.2
8月 8日	179.2	181.1	173.8	175.9	173.4	172.8	175.8
	18日	185.3	184.0	180.6	182.6	180.1	182.0
	28日	186.1	183.5	182.6	186.3	182.3	183.7
9月 7日	169.5	169.2	167.3	169.3	169.9	165.1	168.0
	17日	163.9	162.9	162.3	162.4	165.5	162.3
	27日	166.8	165.0	165.0	164.8	167.4	165.0
10月 7日	168.5	169.0	169.3	167.2	170.6	165.9	167.8
	17日	156.1	160.4	158.7	157.7	161.6	157.7
	27日	154.2	159.0	158.3	156.6	159.0	156.5
11月 6日	181.1	184.4	184.8	182.7	183.8	182.5	182.8

引用文献

1. Akiyama, T., Takahashi, S., Shiyomi, M. and Okubo, T. (1984): Energy flow at the producer level. The energy dynamics of grazed grassland 1. *Oikos* 42: 129-137.
2. ケンドール, M.G. (奥野忠一・大橋増雄訳) (1981): 「多変量解析」3. 分類とクラスター分け, 培風館(東京), pp. 34-53.
3. 小山信明・築城幹典・塩見正衛 (1986): 放牧草地におけるエネルギーの流れ. I. 細胞内容物と細胞膜物質エネルギー現存量の季節変化. *草地試研報* 33: 9-16.
4. 小山信明・塩見正衛・築城幹典 (1986): 放牧草地におけるエネルギーの流れ. II. エネルギーと窒素の収支. *草地試研報* 33: 17-26.
5. 農林水産技術会議事務局(編) (1985): *Contax—会話型数値分類パッケージプログラム—*. 農林水産技術会議事務局電子計算課(茨城・谷田部), pp. 1-107.
6. 塩見正衛・酒井清六 (1977): 分数方法の比較のための尺度. *応動昆* 21: 123-129.
7. Shiyomi, M., Takahashi, S., Akiyama, T. and Hakamata, T. (1983): A system model for short and long term prediction of grazing pasture productivity. *Bull. Natl. Grassl. Res. Inst.* 26: 17-29.
8. 高橋繁男・秋山 侃・塩見正衛・大久保忠且 (1984): 混播放牧草地の生産力. I. 放牧草地における植物生産の季節的・年次の推移. *草地試研報* 28: 1-15.

SUMMARY

Relationships between Meteorological Statistics and
Grassland Production at NGRI (Nishinasuno)

Masae SHIYOMI

*Department of Ecology, National Grassland
Research Institute, Nishinasuno, Tochigi 329-27, Japan*

Received June 10, 1986

For appropriate management of grassland a precise forecasting of production is required and similar precise forecasting of meteorological conditions is required for such exact prediction of grassland production. In general, however, long term prediction of meteorological conditions, say, more than three months, is almost impossible and a method which will overcome this impossibility is required. One substitutive method is to construct several types of meteorological seasonal changes based upon accumulated data and to choose one or two of these types to appropriate the meteorological seasonal change most probable for a given area in a given year, instead of forecasting actual meteorological conditions.

At the National Grassland Research Institute (NGRI) (36°56' N, 139°58' E and 320 m asl) in Tochigi Prefecture, mean daily air-temperature and accumulated precipitation have been recorded for 10-day intervals since 1944. In this report, several statistical characteristics of seasonal and annual changes in these meteorological data and the relationships between the meteorological changes and herbage production in grazing grassland are discussed.

The results are summarized as follows: 1) The year to year variations in the 10-day mean daily air-temperatures are slight in May and from August to November, and extensive from December to March and June to July. The year to year variations in the 10-day accumulated precipitation are extensive from May to September and slight from December to March.

2) Principal component analysis and a method of numerical classification (k-means) were applied to the 42 years of meteorological data during the plant growing season, six different types of seasonal meteorological changes were classified, and seasonal changes in grassland production for each meteorological type defined above were calculated using Shiyomi's mathematical model. These results should contribute to the estimation of grassland biomass production.

3) Productivity of pasture in the Nishinasuno Area is strongly affected by air-temperature in March and April, and it scarcely affected by air-temperature and precipitation in the summer because air-temperature is relatively low and precipitation is relatively high then.