

牧草の気象感応試験を利用した1番草の乾物収量予測

佐藤明子、佐藤勝郎、久根崎久二*、山田和明

(*岩泉農業改良普及所)

目次

I. 緒言

II. 研究方法

1. 畜産試験場における年次別生産力
2. 地域別生産力
3. 標高別生産力

III. 結果と考察

1. 畜産試験場における年次別生産力
2. 地域別生産力
3. 標高別生産力

IV. 摘要

V. 引用文献

I. 緒言

牧草の生育と気象要因の関係は以前から論じられているが、寒地型牧草については現在に至っても気象条件と生産量の関係は明らかにされていない。

近年、水稻をはじめとしていろいろな作物で気象要因を利用した生育ステージ・収量予測の研究が行われ^{1, 2, 3)}、一部実用化されている。しかし、牧草においては他の作物のように刈り取り・肥培管理が一定しておらず、さらに一度播種すると利用年数は8年～10数年⁴⁾にも及ぶため、経年化の影響、草種割合の影響などが大きく、収量予測が非常に難しい状況にある。

当場では、1967年より作況試験の一つとして牧草の気象感応試験を実施しており、過去20余年のデータ蓄積がある。これらのデータを用いて、年間牧草収量に占める割合の最も大きい1番草の乾物収量予測を検討したので報告する。

II. 研究方法

1. 畜産試験場における年次別生産力

1) 供試草地

毎年同一月日(9月1日)に同一耕種法で造成したオーチャードグラス(品種:アオナミ)単播草地を用いた。試験規模は1区10m²、3～4反復とした。

2) 施肥量(kg/a)

年間施肥量:N 3.5、P₂O₅ 1.8、K₂O 3.5
早春追肥量:N 1.0、P₂O₅ 0.5、K₂O 1.0
刈取後追肥量:N 0.5、P₂O₅ 0.25、K₂O 0.5

3) 利用回数

年間5回刈り取り

1番草:5月20日、2番草:6月20日、
3番草:7月20日、4番草:9月5日、
5番草:10月12日

4) 収量推定に用いたデータ

気象要因と乾物収量の関係进行分析するため、乾物収量を支配する気象要因として、生育初期の日数を11通りの積算期間に分け(4月1日～5月10日、4月1～30日、4月1～20日、4月5日～5月10日、4月5～30日、4月5～20日、4月10日～5月10日、4月10～30日、4月10～20日、4月15日～5月10日、4月15～30日)、各積算期間ごとに平均気温、最高気温、最低気温、降水量、日照時間の5気象要因の積算値を変数に用いた。また、乾物収量には出穂始～出穂期に相当する1番草乾物重(5月20日現在)を用いた(表1)。

5) 収量推定の方法

11通りの積算期間ごとに、5気象要因の積算値と乾物収量との関係を多次元解析法(重回帰)⁵⁾によって分析した。

分析方法には、

- ① 5 気象要因を用いた一般型の多変量解析法による乾物収量推定
- ② 適切な生育支配要因を選択する逐次変数選択法（増減法）による乾物収量推定を用いた。

2. 地域別生産力

1) 試験場所

県南部（江刺市、農業試験場県南分場）
 県北部（軽米町、農業試験場県北分場）

2) 供試草地

1979年9月1日、1982年9月1日、1986年9月1日に造成したオーチャードグラス

（アオナミ）単播草地を用いた。試験規模は1区10m²、1～2反復とした。

3) 収量推定に用いたデータ

生育初期の気象要因は、年次別生産力調査で乾物収量に最も強い影響がみられた4月5日から4月30日までの生育期間の平均気温、最高気温、最低気温、降水量、日照時間の積算値を用いた。

乾物収量は5月20日調査の1番草乾物重を用いた（表2）。

4) 施肥量、利用回数、収量推定の方法については、畜産試験場における年次別生産力と同一にした。

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ（1）

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月1日～5月10日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	359.2	585.0	158.3	94.7	354.1
1971	14.1	250.4	472.0	70.6	114.4	330.2
1972	35.2	380.3	583.5	196.5	155.3	305.5
1973	35.4	378.7	588.8	182.5	179.1	273.6
1974	27.3	328.5	528.8	137.4	158.7	313.3
1975	38.7	394.5	621.1	180.5	180.5	325.6
1976	31.0	293.7	539.7	101.9	181.8	316.9
1977	18.2	301.6	529.9	73.1	234.1	302.6
1978	27.6	341.4	547.6	154.4	73.0	317.1
1979	34.3	311.1	526.3	115.7	200.5	223.2
1980	26.4	312.6	533.9	111.7	167.5	266.2
1981	28.8	352.3	584.6	137.2	117.3	260.7
1982	38.7	396.3	591.0	199.6	189.0	252.5
1983	45.4	415.3	639.1	192.0	175.0	253.7
1984	20.3	267.5	486.9	89.7	86.0	266.7
1985	46.4	388.3	614.5	157.1	93.5	228.8
1986	32.4	353.8	576.5	149.3	134.0	264.3
1987	33.6	326.1	588.6	89.7	72.0	298.5
1988	36.6	355.0	559.4	108.2	135.0	264.7
1989	35.9	362.0	600.7	121.3	139.2	248.4
1990	38.8	359.9	575.8	141.4	215.4	230.9

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (℃)、
 降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (2)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月1日~4月30日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	211.5	376.6	72.5	76.7	265.5
1971	14.1	190.2	360.6	57.0	34.8	256.9
1972	35.2	241.9	390.8	113.0	123.3	227.8
1973	35.4	264.4	417.5	124.6	158.5	202.0
1974	27.3	222.9	368.4	86.3	153.3	223.2
1975	38.7	274.7	442.4	120.1	88.5	249.0
1976	31.0	200.6	388.7	65.0	126.0	236.2
1977	18.2	201.3	368.6	33.9	194.4	223.1
1978	27.6	215.4	366.7	83.7	49.0	228.4
1979	34.3	191.2	337.0	65.2	177.0	151.2
1980	26.4	207.4	369.8	65.7	138.0	199.4
1981	28.8	240.3	414.6	83.8	87.5	200.1
1982	38.7	253.6	397.0	108.7	153.5	191.4
1983	45.4	299.4	461.1	139.2	125.5	175.9
1984	20.3	155.9	324.6	29.5	67.5	217.6
1985	46.4	260.4	421.9	94.6	55.5	165.2
1986	32.4	223.7	375.3	90.7	107.0	174.6
1987	33.6	209.0	391.6	51.7	39.0	223.2
1988	36.6	230.6	399.9	59.7	113.5	201.2
1989	35.9	245.3	422.2	67.0	138.2	179.2
1990	38.8	237.6	401.4	71.8	168.4	165.8

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (℃)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (3)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月1日~4月20日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	108.9	211.8	26.4	49.7	168.6
1971	14.1	118.4	230.7	31.8	9.6	166.8
1972	35.2	123.3	218.3	47.2	102.9	125.9
1973	35.4	156.0	261.1	65.0	86.7	142.6
1974	27.3	116.6	210.5	31.8	49.4	147.5
1975	38.7	158.0	267.6	6.4	81.5	163.5
1976	31.0	96.7	227.5	18.9	40.2	158.6
1977	18.2	131.3	235.7	26.8	93.0	136.8
1978	27.6	115.8	215.4	36.1	38.5	146.3
1979	34.3	106.4	203.8	27.3	124.0	108.1
1980	26.4	125.0	222.9	45.5	91.5	119.1
1981	28.8	127.1	237.4	32.7	61.9	123.7
1982	38.7	149.9	234.9	63.8	144.5	106.9
1983	45.4	172.7	281.4	66.1	61.0	110.2
1984	20.3	69.2	170.0	9.9	67.5	141.2
1985	46.4	153.2	252.9	53.7	43.5	95.8
1986	32.4	118.8	225.5	30.7	42.0	132.6
1987	33.6	121.6	237.6	28.8	22.0	137.1
1988	36.6	128.6	248.3	7.8	60.0	135.9
1989	35.9	166.2	288.8	42.8	89.1	117.4
1990	38.8	140.6	255.2	24.2	82.8	116.5

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (℃)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (4)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月5日～5月10日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	349.9	556.2	157.3	94.7	313.7
1971	14.1	229.7	430.4	64.2	113.8	290.0
1972	35.2	359.7	542.9	187.7	144.1	275.9
1973	35.4	363.3	549.8	182.5	179.1	243.9
1974	27.3	306.3	492.2	127.7	151.7	281.1
1975	38.7	74.4	577.6	178.0	86.5	286.3
1976	31.0	284.1	507.7	101.5	180.6	289.1
1977	18.2	285.7	489.5	81.7	230.1	259.6
1978	27.6	333.4	518.7	154.4	67.5	281.8
1979	34.3	305.8	506.4	115.5	166.5	203.1
1980	26.4	290.4	485.4	108.6	149.5	231.0
1981	28.8	327.6	532.2	135.2	105.9	233.4
1982	38.7	373.8	555.3	190.5	189.0	229.6
1983	45.4	388.5	592.7	185.0	164.5	234.6
1984	20.3	257.6	455.2	89.2	69.0	233.5
1985	46.4	357.1	565.1	144.5	68.0	207.9
1986	32.4	333.1	532.9	143.8	125.0	238.2
1987	33.6	305.8	547.5	88.1	63.5	274.8
1988	36.6	308.8	500.0	115.4	130.5	221.5
1989	35.9	331.0	539.2	121.0	133.2	213.7
1990	38.8	322.5	504.1	138.5	199.1	196.4

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (°C)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (5)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月5日～4月30日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	202.2	346.9	71.5	76.7	255.1
1971	14.1	169.5	319.0	50.6	34.2	216.7
1972	35.2	221.3	350.2	104.2	112.1	198.2
1973	35.4	249.0	378.5	124.6	158.5	172.3
1974	27.3	200.7	331.8	76.6	146.3	191.0
1975	38.7	254.6	398.9	117.7	44.5	209.7
1976	31.0	191.0	356.7	64.6	124.8	208.4
1977	18.2	185.5	328.2	42.5	190.4	223.1
1978	27.6	207.4	337.8	83.7	43.5	193.1
1979	34.3	185.9	317.1	65.0	143.0	131.1
1980	26.4	185.2	321.3	62.6	120.0	164.2
1981	28.8	215.6	362.2	81.8	76.1	172.8
1982	38.7	231.1	361.3	99.6	153.5	168.5
1983	45.4	272.6	414.7	132.2	115.2	156.8
1984	20.3	146.0	292.9	29.0	50.5	184.4
1985	46.4	229.2	372.5	82.0	30.0	144.3
1986	32.4	203.0	331.7	85.0	98.0	148.5
1987	33.6	188.7	350.5	50.1	30.5	199.5
1988	36.6	204.4	340.4	52.5	109.0	158.0
1989	35.9	214.3	360.7	66.7	132.2	144.5
1990	38.8	200.2	329.7	68.9	152.1	131.3

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (°C)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (6)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月5日~4月20日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	99.6	182.1	25.4	49.7	128.2
1971	14.1	97.7	189.1	25.4	9.0	126.6
1972	35.2	102.7	177.7	38.4	91.7	96.3
1973	35.4	140.6	222.1	65.0	86.7	112.9
1974	27.3	94.4	173.9	22.1	42.4	115.3
1975	38.7	137.9	224.1	54.0	37.5	124.2
1976	31.0	87.1	195.5	18.5	39.0	130.8
1977	18.2	115.4	195.3	35.4	89.0	93.8
1978	27.6	107.8	186.5	36.1	33.0	111.0
1979	34.3	101.1	183.9	27.1	90.0	88.0
1980	26.4	102.8	174.4	42.4	73.5	83.9
1981	28.8	102.4	185.0	30.7	50.5	96.4
1982	38.7	127.4	199.2	54.7	144.5	84.0
1983	45.4	145.9	235.0	59.1	50.5	91.1
1984	20.3	59.3	138.3	9.4	50.5	108.0
1985	46.4	122.0	203.5	41.1	18.0	74.9
1986	32.4	98.1	181.9	25.2	33.0	106.5
1987	33.6	101.3	196.5	27.2	13.5	113.4
1988	36.6	102.4	188.9	15.0	55.5	92.7
1989	35.9	135.2	227.3	42.5	83.4	82.7
1990	38.8	103.2	183.5	21.3	66.5	82.0

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (°C)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (7)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月10日~5月10日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	315.1	494.3	173.7	86.2	267.8
1971	14.1	199.6	376.5	53.7	109.6	260.2
1972	35.2	335.8	504.2	174.5	128.7	252.6
1973	35.4	314.0	469.4	162.0	179.1	202.3
1974	27.3	279.1	443.5	121.9	140.9	256.7
1975	38.7	331.7	511.9	157.2	49.0	257.9
1976	31.0	271.3	464.8	100.3	165.1	250.9
1977	18.2	264.7	448.5	80.6	227.1	199.5
1978	27.6	303.9	467.5	145.5	47.0	243.2
1979	34.3	266.1	435.9	100.8	124.5	171.3
1980	26.4	259.3	435.1	93.8	101.5	208.7
1981	28.8	288.6	464.6	122.5	88.6	197.1
1982	38.7	330.0	479.7	178.8	168.0	198.4
1983	45.4	342.4	512.3	172.7	164.5	194.1
1984	20.3	249.6	422.9	89.0	57.0	191.0
1985	46.4	309.8	489.7	125.7	66.0	180.9
1986	32.4	303.7	479.3	133.2	122.0	205.7
1987	33.6	268.8	486.4	73.2	50.5	255.6
1988	36.6	290.2	456.5	122.1	125.0	191.6
1989	35.9	289.1	463.2	113.3	79.6	178.5
1990	38.8	286.3	441.1	129.5	175.1	163.1

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (°C)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ(8)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月10日~4月30日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	167.4	285.0	62.5	68.2	179.2
1971	14.1	139.4	265.1	40.1	30.0	186.9
1972	35.2	197.4	311.5	91.0	96.7	174.9
1973	35.4	199.7	298.1	104.1	158.5	130.7
1974	27.3	173.5	283.1	70.8	135.5	166.6
1975	38.7	211.9	333.2	96.8	7.0	181.3
1976	31.0	178.2	313.8	63.4	109.3	170.2
1977	18.2	164.4	287.2	41.4	187.4	120.0
1978	27.6	177.9	286.6	74.8	23.0	154.5
1979	34.3	146.2	246.6	50.3	101.0	99.3
1980	26.4	154.1	271.0	47.8	72.0	141.9
1981	28.8	176.6	294.6	69.1	58.8	136.5
1982	38.7	187.3	285.7	87.9	132.5	137.3
1983	45.4	226.5	334.3	119.9	115.0	116.3
1984	20.3	138.0	260.6	28.8	38.5	141.9
1985	46.4	181.9	297.1	63.2	28.0	117.3
1986	32.4	173.6	278.1	74.6	95.0	116.0
1987	33.6	151.7	289.4	35.2	17.5	180.3
1988	36.6	185.8	296.9	73.6	103.5	128.1
1989	35.9	172.4	284.7	59.0	78.6	109.3
1990	38.8	164.0	266.7	59.9	128.1	98.0

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (℃)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ(9)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月10日~4月20日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	64.8	120.2	16.4	41.2	82.3
1971	14.1	67.6	135.2	14.9	4.8	96.8
1972	35.2	78.8	139.0	25.2	76.3	73.0
1973	35.4	91.3	141.7	44.5	86.7	71.3
1974	27.3	67.2	125.2	16.3	31.6	90.9
1975	38.7	95.2	158.4	33.1	0.0	95.8
1976	31.0	74.3	152.6	17.3	23.5	92.6
1977	18.2	94.3	154.3	34.3	86.0	75.9
1978	27.6	78.3	135.3	27.3	12.5	72.4
1979	34.3	61.4	113.4	12.4	48.0	56.2
1980	26.4	71.7	124.1	27.6	25.5	61.6
1981	28.8	63.4	117.4	18.0	33.2	60.1
1982	38.7	83.6	123.6	43.0	123.5	52.8
1983	45.4	99.8	154.6	46.8	50.5	50.6
1984	20.3	51.3	106.0	9.2	38.5	65.5
1985	46.4	74.7	128.1	22.3	16.0	47.9
1986	32.4	68.7	128.3	14.6	30.0	74.0
1987	33.6	64.3	135.4	18.3	0.0	94.2
1988	36.6	83.8	145.4	21.7	50.0	62.8
1989	35.9	93.3	151.3	34.8	29.8	47.5
1990	38.8	67.0	120.5	12.3	42.5	48.7

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (℃)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (10)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月15日～5月10日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	293.3	447.8	146.1	62.2	225.9
1971	14.1	167.4	312.8	45.9	108.2	215.1
1972	35.2	305.9	444.5	167.8	93.2	212.1
1973	35.4	274.5	401.7	146.8	145.9	166.6
1974	27.3	245.1	380.8	112.8	116.7	208.3
1975	38.7	283.9	434.3	138.0	49.0	214.6
1976	31.0	234.1	392.2	89.0	141.6	212.4
1977	18.2	213.9	356.3	71.2	185.1	190.2
1978	27.6	271.5	407.8	137.1	45.5	206.8
1979	34.3	235.5	381.5	92.3	103.5	141.9
1980	26.4	218.4	366.2	76.9	79.5	179.5
1981	28.8	254.8	406.4	108.8	77.4	160.2
1982	38.7	282.7	412.4	151.8	133.0	166.6
1983	45.4	290.5	428.2	151.0	124.0	165.5
1984	20.3	225.9	365.9	88.2	57.0	140.1
1985	46.4	273.2	423.6	118.7	59.0	150.2
1986	32.4	276.0	424.4	130.1	96.0	175.8
1987	33.6	257.7	448.4	73.2	50.0	208.6
1988	36.6	249.7	386.6	111.3	95.5	165.7
1989	35.9	243.4	387.6	97.7	49.8	155.0
1990	38.8	245.9	372.1	118.0	137.1	139.7

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (°C)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表1 年次別生産力で収量推定に用いたデータ (11)

試験年次 (年)	5月20日 乾物収量	4月15日～4月30日 各気象要因				
		平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間
1970	29.9	145.6	238.5	60.3	44.2	137.3
1971	14.1	107.2	201.4	32.3	28.6	141.8
1972	35.2	167.5	251.8	84.3	61.2	134.4
1973	35.4	160.2	230.4	88.9	125.3	95.0
1974	27.3	139.5	220.4	61.7	111.3	118.2
1975	38.7	164.1	255.6	77.6	7.0	138.0
1976	31.0	141.0	241.2	52.1	85.8	131.7
1977	18.2	113.6	195.0	32.0	145.4	110.7
1978	27.6	145.5	226.9	66.4	21.5	118.1
1979	34.3	115.6	192.2	41.8	80.0	69.9
1980	26.4	113.2	202.1	30.9	50.0	112.7
1981	28.8	142.8	236.4	55.4	47.6	99.6
1982	38.7	140.0	218.4	60.9	97.5	105.5
1983	45.4	174.6	250.2	98.2	74.5	87.7
1984	20.3	114.3	203.6	28.0	38.5	91.0
1985	46.4	145.3	231.0	56.2	21.0	86.6
1986	32.4	145.9	223.2	71.5	69.0	86.1
1987	33.6	140.6	251.4	35.2	17.0	133.3
1988	36.6	145.3	227.0	62.8	74.0	102.2
1989	35.9	126.7	209.1	43.4	48.8	85.8
1990	38.8	123.6	197.7	48.4	90.1	74.6

単位：乾物収量 (kg/a)、平均・最高・最低気温 (°C)、
降水量 (mm)、日照時間 (時間)

表2 地域差で収量推定に用いたデータ

地域	年次	試験 5月20日 4月5日～4月30日 各気象要因					
		乾物収量 (kg/a)	平均気温 積算値	最高気温 積算値	最低気温 積算値	降水量 積算値	日照時間 積算値
県南	1980	63.8	209.7	342.3	75.8	97.4	119.6
	1981	57.1	245.7	383.9	106.0	112.5	160.4
	1982	58.4	248.7	389.2	107.9	140.3	141.2
	1983	61.6	312.3	466.6	157.4	72.0	165.2
	1984	35.2	193.5	330.0	56.9	76.4	165.9
	1985	53.1	262.7	386.0	139.1	88.6	115.0
	1986	46.0	241.2	370.3	111.7	84.6	127.9
	1987	41.5	224.0	405.5	29.5	16.8	182.5
	1988	47.1	233.0	382.5	78.0	107.7	155.3
	1989	63.6	247.0	372.0	117.5	254.0	131.0
	1980	49.6	166.9	317.1	-0.9	56.7	158.6
	1981	54.5	202.9	357.4	34.6	23.4	170.1
	1982	57.0	183.8	341.8	6.0	98.6	170.0
	1983	57.8	270.9	445.3	92.8	10.0	171.0
県北	1984	33.9	116.7	248.2	-16.0	127.3	139.8
	1985	53.5	209.6	358.6	77.9	26.0	127.5
	1986	50.0	202.9	360.1	50.9	26.2	131.2
	1987	41.4	201.0	357.5	27.0	25.3	182.0
	1988	40.6	212.0	361.0	39.0	45.9	151.5

単位：平均・最高・最低気温積算値（℃）、降水量積算値（mm）、日照時間積算値（時間）

3. 標高別生産力

1) 試験場所

標高 250m（滝沢村、畜産試験場）

標高 720m（玉山村、畜産試験場外山分場）

2) 供試草地

1985年9月1日（標高250m）、1985年8月19日（標高720m）造成のオーチャードグラス（品種：アオナミ、キタミドリ、オカミドリ）単播草地を用いた。

3) 施肥量 (kg/a)

年間施肥量：N 3.5、P₂O₅ 1.8、K₂O 3.5

早春追肥量：N 1.0、P₂O₅ 0.5、K₂O 1.0

刈取後追肥量：N 0.5、P₂O₅ 0.25、K₂O 0.5

4) 利用回数

年間5回刈り取り

1番草：6月1日、2番草：7月5日

3番草：8月5日、4番草：9月10日

5番草：10月12日

5) 収量推定に用いたデータ

前項と同様に生育初期の気象要因は平均気温、最高気温、最低気温、降水量、日照時間とし、4月5日から4月30日までの各積算値を用いた。

乾物収量は6月1日調査の1番草乾物収量（表3）を用いた。

6) 収量推定の方法

前述の積算気象要因と品種別の乾物収量との関係を、多次元解析法（重回帰）で分析した。

表3 標高差で収量推定に用いたデータ

標高	試験 6月1日 4月5日～4月30日 各気象要因						
	年次	乾物収量 (kg/a)	平均気温 積算値	最高気温 積算値	最低気温 積算値	降水量 積算値	日照時間 積算値
250m	1986	52.8	203.0	331.7	85.0	98.0	148.5
	1987	53.2	188.7	350.5	50.1	30.5	199.5
	1988	62.4	204.4	340.4	52.5	109.0	158.0
	1989	57.4	214.3	360.7	66.7	132.2	144.5
	1990	42.7	200.2	329.7	68.9	152.1	131.3
720m	1986	14.5	117.7	240.4	-33.0	99.0	157.2
	1987	27.1	96.7	255.0	-84.8	39.0	209.8
	1988	32.1	115.8	230.6	-50.5	103.0	116.4
	1989	24.3	130.8	282.0	-33.9	142.0	130.8
	1990	22.3	117.8	225.2	-36.5	189.0	104.9

単位：平均・最高・最低気温積算値（℃）、降水量積算値（mm）、日照時間積算値（時間）

表4 県中央部の気象要因と乾物重の関係解析（分析年：1970～1990年）

起算 月日	積算期間 月日	全気象要因を用いた分析		有効な気象要因選択法による分析（変数選択）						
		寄与率	残差の標準偏差	平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間	寄与率	残差の標準偏差
4. 1	4. 1～5. 10	0.845	3.695	○	○	○		○	0.845	3.578
	4. 1～4. 30	0.754	4.659		○	○	○	○	0.754	4.515
	4. 1～4. 20	0.544	6.345	○	○	○		○	0.544	6.144
4. 5	4. 5～5. 10	0.834	3.830	○	○	○		○	0.834	3.710
	4. 5～4. 30	0.806	4.138	○	○		○	○	0.801	4.056
	4. 5～4. 20	0.477	6.797	○	○		○	○	0.477	6.581
4. 10	4. 10～5. 10	0.727	4.913	○	○		○	○	0.726	4.762
	4. 10～4. 30	0.654	5.526	○	○		○	○	0.651	5.372
	4. 10～4. 20	0.379	7.405	○		○	○	○	0.379	7.171
4. 15	4. 15～5. 10	0.681	5.305	○	○		○	○	0.681	5.137
	4. 15～4. 30	0.729	4.888	○		○	○	○	0.719	4.826

※寄与率 = (重相関係数)² 残差の標準偏差 = $\sqrt{\text{残差平方和} / \text{自由度}}$

III. 結果と考察

1. 畜産試験場における年次別生産力

分析の結果、推定精度の高い乾物収量予測ができたのは、解析法や積算期間の起算日に関係なく、気象積算値の最終日を5月10日にした場合であった（表4）。

しかし、5月10日では1番草の収穫直前であ

り予測するには時期が遅く、不都合であったため、若干推定精度が低下しても、4月中の積算値だけで推定しなければ実用的ではないと思われた。

このことから積算期間を4月1日～30日、4月1日～20日、4月5日～30日、4月5日～20日、4月10日～30日、4月10日～20日、4月15

日～30日の7通りに変えて再検討した。

この結果、積算期間によって推定寄与率や残差の標準偏差は異なるものの、同一積算期間では2種類の分析方法の間には大きな差が見られなかった。この中で推定寄与率 (R^2) が高く、しかも推定誤差が小さく高精度の推定が期待されるのは4月5日～4月30日期間の気象の積算値を用いた場合であった。

全気象要因を用いた分析では $R^2=0.806$ であり、変数選択法では気象要因は平均気温、最高気温、降水量、日照時間の4要因が選択され、

$R^2=0.801$ となった。いずれにしても様々な気象要因が相互に作用し合って生育・収量を支配していると考えられた。

表5には4月5日～4月30日期間の気象要因と乾物収量の関係を単純相関係数で示した。これによると乾物収量は平均気温と最高気温との相関が高く⁶⁾、降水量との相関は低かった。

一般にオーチャードグラスの生育適温は18～21℃と言われている⁷⁾が、この期間ではそれより低温であるため、早春の高温は収量に大きく影響するものと考えられた。

表5 各変数要因ごとの相関係数
(積算期間4月5日～4月30日の場合)

	平均気温	最高気温	最低気温	降水量	日照時間	乾物重
平均気温	1.000	0.932	0.928	0.114	-0.191	0.757
最高気温	0.932	1.000	0.810	-0.037	-0.032	0.705
最低気温	0.928	0.810	1.000	0.112	-0.141	0.633
降水量	0.114	-0.037	0.112	1.000	-0.242	0.057
日照時間	-0.191	-0.032	-0.141	-0.242	1.000	-0.569
乾物重	0.757	0.705	0.633	0.057	-0.569	1.000

上述のとおり、最も観測期間が長く(1970年～1990年)、分析データが整備されている県中部(畜産試験場)を対象に4月5日～4月30日期間で全気象要因を用いて次のような推定式を求めた。

$$Y = -4.2571 + 0.1445X_1 + 0.1086X_2 - 0.0654X_3 - 0.0145X_4 - 0.1395X_5$$

($R^2=0.806$)

Y : 1番草乾物収量

(5月20日時点生育量)

X_1 : 4月5日～4月30日平均気温積算値

X_2 : 4月5日～4月30日最高気温積算値

X_3 : 4月5日～4月30日最低気温積算値

X_4 : 4月5日～4月30日降水量積算値

X_5 : 4月5日～4月30日日照時間積算値

R^2 : 寄与率

推定精度を示す寄与率は0.806でかなり高い

値となった。

また、この期間で種々の気象要因の採択が収量に及ぼす影響を分析し、表6に示した。これによると取り上げた気象要因の変数の数が増加するにつれて寄与率が増加した。よって適切な収量推定のためには、変数選択法を用いて有効な複数の気象要因を探ることが重要と考えられた。

さらに推定式から得られた収量と実際の収量の差の検定を行ったところ、表7に示したとおり有意な差は認められなかった。しかし、年次によっては実測値と推定値の違いが大きい年もあった。これについて分析したところ播種時期が遅れ、牧草の定着が十分でなかったことが指摘されたので、そのような年次は異常値として取り扱った方が良く考えられた。

表6 積算期間4月5日～4月30日の各気象要因と乾物重の解析（県中央部）

変数の数	選 択 し た 気 象 要 因					推定式の 寄与率	残 差 の 標準偏差
	平均気温	最高気温	最低気温	降 水 量	日照時間		
1 変 数	○					0.572	5.460
		○				0.497	5.925
			○			0.400	6.467
				○		0.003	8.337
					○	0.324	6.867
		○	○			0.572	5.610
2 変 数	○		○			0.608	5.375
	○		○			0.573	5.604
	○			○		0.759	4.210
		○	○			0.508	6.020
		○	○		○	0.504	6.045
		○			○	0.795	3.880
			○	○		0.400	6.643
			○	○	○	0.635	5.185
3 変 数	○		○			0.331	7.019
	○		○			0.615	5.481
	○		○			0.574	5.765
	○		○		○	0.797	3.980
		○	○			0.608	5.526
	○		○		○	0.780	4.138
	○		○		○	0.776	4.176
		○	○		○	0.511	6.172
4 変 数		○	○			0.795	3.992
		○	○		○	0.798	3.967
			○	○	○	0.651	5.213
		○	○	○	○	0.798	4.088
			○	○	○	0.796	4.112
	○		○		○	0.801	4.056
5 変 数	○	○	○			0.800	4.069
	○	○	○			0.619	5.615
	○	○	○	○	○	0.806	4.138

表7 実測値と推定値の平均値の差の検定 (t検定)

	実 測 値	推 定 値	差
デ - タ 数	21	21	
最 大 値	46.4	48.0	5.5
最 小 値	14.1	20.3	-6.9
平 均 値	32.1429	32.1429	0
分 散	66.2448	53.5054	12.806
標 準 偏 差	8.13909	7.31474	3.57855
採 択 域	有意水準 5%		
有意差の判定	有意差なし		

2. 地域別生産力

データ数にはやや問題があるが、同様に県南部、県北部についても4月5日～4月30日期间で収量推定式を一般型法と逐次選択法で求めた。

これによると県南部は、

$$Y = -26.4238 - 3.6819X_1 + 2.2589X_2 + 1.5009X_3 + 0.1294X_4 - 0.3829X_5$$

(R²=0.735)

また、県北部は、

$$Y = -58.3189 - 1.1558X_1 + 0.9796X_2 + 0.0936X_3 - 0.0762X_4$$

(R²=0.630)

となった。

ただし、県南部と県北部は圃場面積が限られ

ていることもあり、試験区に反復がなく、しかも利用1～7年目までの平均値を用いて分析しているため経年化の影響もあり、観測期間も短いので、分析データの多かった県中部よりは推定精度が低くなった。

なお、単純相関はそれぞれ表8のようになり、県南部と県北部ではかなり異なった。県南部では乾物収量に対して特に高い相関を持っている要因がなく、平均気温、最低気温、降水量、日照時間がほぼ平均的に相関を有しており、最高気温とは低位であった。県北部では県中部とほぼ同様な傾向が認められ、平均気温と最高気温との相関が高く、日照時間とは低位であった。

表8 県南部・県北部の4月5日～30日期间の相関係数行列

	県 南 部						県 北 部					
	平均 気温	最高 気温	最低 気温	降水 量	日照 時間	乾物 重	平均 気温	最高 気温	最低 気温	降水 量	日照 時間	乾物 重
平均気温	1.00	0.88	0.84	-0.03	0.09	0.52	1.00	0.99	0.89	0.28	-0.83	0.62
最高気温	0.88	1.00	0.50	0.36	-0.20	0.30	0.99	1.00	0.86	0.33	-0.82	0.66
最低気温	0.84	0.50	1.00	-0.45	0.37	0.62	0.89	0.86	1.00	-0.12	-0.81	0.53
降水量	0.09	-0.20	0.37	1.00	-0.45	0.56	-0.83	-0.82	-0.81	1.00	-0.14	-0.45
日照時間	-0.03	0.36	-0.45	-0.45	1.00	-0.47	0.28	0.33	-0.12	-0.14	1.00	0.20

表9 県南部・県北部の実測値と推定値の平均値の差の検定 (t検定)

	県 南 部		県 北 部	
	実 測 値	推 定 値	実 測 値	推 定 値
デ ー タ 数 値 平 均 値	10 52.74	10 52.74	9 48.70	9 48.70
採 択 域	有意水準 5%		有意水準 5%	
有意差の判定	有意差なし		有意差なし	

さらに表9には実測値と推定値の差の検定を結果を示した。県中部と同様に各地域とも平均値の差は有意水準5%の採択域内で有意な差は見られなかった。

次に畜産試験場本場（県中部）、江刺市（県南部）、軽米町（県北部）の3地域のデータを併せ、さらに標高を加えて解析すると次のような推定式が得られた。

$$Y = 36.9308 + 0.5082X_1 - 0.2005X_2 - 0.1865X_3 - 0.0252X_4 - 0.0396X_5 - 0.0625X_6$$

$$(R^2 = 0.686)$$

X_6 : 標高

このように様々な影響が含まれるため、県中部だけで推定するよりは精度は低下した。よって全県を一つの推定式で予測することは現時点では難しく、今後の課題であると考えられた。全県的に条件の揃ったデータを取ることが可能になればさらに推定精度は向上すると考えられ

るので、今後はそのような努力が必要であろう。

3. 標高別生産力

同様に 250mと 720mの標高差がある草地について、6月1日時点で乾物収量予測を行った。調査期間は5年間と短かったが、得られた推定式は3品種の平均では $R^2=0.948$ （逐次変数選択法でも $R^2=0.945$ ）と精度が高く、標高差を加えるとさらに寄与率は0.959（逐次変数選択法でも $R^2=0.957$ ）に高まった。また、品種別の推定精度は表10に示した。推定精度が高いのは、試験期間中は比較的変動のない収穫調査が可能であったためか、あるいはデータが少なかったためかは判明しなかった。

3品種平均の全変数を用いた推定式は

$$Y = -53.8762 + 1.1424X_1 - 0.1908X_2 - 0.4605X_3 - 0.1582X_4 - 0.0760X_5$$

$$(R^2 = 0.948)$$

であり、標高を加味すると

表10 乾物収量の子測精度

品 種	6要因で推定した場合（標高含み）			5要因で推定した場合（標高除き）		
	重相関係数	推定寄与率	残差の標準偏差	重相関係数	推定寄与率	残差の標準偏差
オカミドリ	0.965	0.931	7.262	0.957	0.916	6.907
キタミドリ	0.988	0.976	4.984	0.975	0.950	6.291
アオナミ	0.972	0.945	6.936	0.972	0.945	6.025

$$Y = 21.5503 + 0.7584X_1 - 0.0969X_2 - 0.4761X_3 - 0.1472X_4 - 0.1732X_5 - 0.0588X_6$$

($R^2 = 0.959$)

であった。
また、それぞれの推定値と実測値との差の検定結果を表11、12、13、14に示した。

表11 実測値と推定値の有意差検定 (オカミドリ)

標高	試験年次	実測値	6要因の場合 (標高含み)		5要因の場合 (標高除き)	
			推定値	偏差	推定値	偏差
250m	1986	52.7	46.0	6.7	46.8	5.9
	1987	50.3	52.2	-1.9	50.8	-0.5
	1988	61.7	57.5	4.2	58.4	3.3
	1989	56.5	60.2	-3.7	61.6	-5.1
	1990	44.7	50.0	-5.3	47.2	-2.5
720m	1986	11.8	17.3	-5.5	20.8	-9.0
	1987	28.1	26.2	1.9	24.9	3.2
	1988	33.8	35.3	-1.5	34.4	-0.6
	1989	35.8	33.5	2.3	34.9	0.9
	1990	24.0	21.1	2.9	19.6	4.4
平均値		39.94	39.93	0.01	39.94	-0.00
標準偏差		15.92	15.37	4.19	15.24	4.59
採択域			有意水準 5%		有意水準 5%	
有意差の判定			有意差なし		有意差なし	

単位: kg/a

表12 実測値と推定値の有意差検定 (キタミドリ)

標高	試験年次	実測値	6要因の場合 (標高含み)		5要因の場合 (標高除き)	
			推定値	偏差	推定値	偏差
250m	1986	52.7	49.7	3.0	51.1	1.6
	1987	55.6	54.6	1.0	52.3	3.3
	1988	66.8	67.4	-0.6	68.8	-2.0
	1989	64.7	62.6	2.1	64.9	-0.2
	1990	49.5	55.0	-5.5	50.4	-0.9
720m	1986	15.0	18.2	-3.2	23.8	-8.8
	1987	28.4	27.7	0.7	25.6	2.8
	1988	33.8	34.6	-0.8	33.0	0.7
	1989	20.1	21.0	-0.9	23.3	-3.2
	1990	26.3	22.1	4.2	19.6	6.7
平均値		41.29	41.29	-0.00	41.28	0.01
標準偏差		18.82	18.60	2.88	18.35	4.21
採択域			有意水準 5%		有意水準 5%	
有意差の判定			有意差なし		有意差なし	

単位: kg/a

表13 実測値と推定値の有意差検定 (アオナミ)

標 高	試験年次	実測値	6要因の場合 (標高含み)		5要因の場合 (標高除き)	
			推定値	偏 差	推定値	偏 差
250m	1986	53.0	48.4	4.6	48.5	4.5
	1987	53.7	52.4	1.3	52.1	1.6
	1988	58.8	56.5	2.3	56.6	2.2
	1989	51.1	51.8	-0.7	52.1	-1.0
	1990	33.7	41.3	-7.5	40.9	-7.1
750m	1986	16.7	21.7	-5.0	22.3	-5.6
	1987	24.7	24.3	0.4	24.1	0.6
	1988	28.6	30.2	-1.6	30.0	-1.4
	1989	17.0	16.4	0.6	16.6	0.4
	1990	16.6	11.0	5.6	10.8	5.8
平均値		35.39	35.40	-0.01	35.40	-0.01
標準偏差		17.14	16.67	4.03	16.65	4.05
採 択 域			有意水準 5%		有意水準 5%	
有意差の判定			有意差なし		有意差なし	

単位: kg/a

表14 実測値と推定値の有意差検定 (全草種平均)

標 高	試験年次	実測値	6要因の場合 (標高含み)		5要因の場合 (標高除き)	
			推定値	偏 差	推定値	偏 差
250m	1986	52.8	48.0	4.8	48.8	4.0
	1987	53.2	53.1	0.1	51.7	1.4
	1988	62.4	60.5	1.9	61.3	1.1
	1989	57.4	58.2	-0.8	59.5	-2.1
	1990	42.7	48.8	-6.1	46.2	-3.5
720m	1986	14.5	19.1	-4.6	22.3	-7.8
	1987	27.1	26.1	1.0	24.9	2.2
	1988	32.1	33.4	-1.3	32.5	-0.4
	1989	24.3	23.6	0.7	24.9	-0.6
	1990	22.3	18.1	4.2	16.7	5.6
平均値		38.88	38.89	-0.01	38.88	0.00
標準偏差		19.92	16.58	3.44	16.47	3.85
採 択 域			有意水準 5%		有意水準 5%	
有意差の判定			有意差なし		有意差なし	

単位: kg/a

以上のように現時点ではデータさえ揃っていればかなり精度の良い1番草乾物収量予測が可能と考えられた。ただし、これらは牧草の気象感応試験に基づくものであり、得られた乾物収量予測は、農家用としては直接には利用できな

いという問題がある。

なぜなら、1番草に対する施肥量、収穫時期が農家によって大きく異なっているためと、気象感応試験では施肥量が牧草の生育限定要因とならないように一般農家よりかなり多めに設計

されており、それに伴って利用回数も多くなっているためである。このため前述のような推定式で得られた値は飽くまでも1番草の乾物収量が平年並みであるかどうかの指標としての利用にとどめるべきである。

今後さらに農家レベルの条件の整ったデータを収集・蓄積し、低コストで安定的に良質粗飼料を生産・確保するための簡易で利用しやすい1番草の出穂期・収量予測技術の確立が急務であると考えられた。

IV. 摘要

1. 牧草の気象感応試験の蓄積データと早春の気象データを用いて1番草の乾物収量予測を試みたところ、畜産試験場(県中部)では積算期間の起算日がいつであっても積算最終日が5月10日の場合に推定精度が高かった。
2. 4月中のデータで予測したときは、積算期間を4月5日~30日にした場合に推定精度が高かった($R^2=0.806$)。
3. 県中部では1番草乾物収量と平均気温、最高気温で相関係数が大きい、降水量とは小さかった。
4. 県南部・県北部はデータの蓄積期間が短いことや試験区に反復がないこと、利用年次の違う草地の平均値であることなどが影響し、県中部よりは推定精度が低下した。
5. 相関係数の大きさは県南部と県北部では異なり、乾物収量は県南部では最低気温との相関係数が大きく、県北部では最高気温との相関係数が大きかった。
6. 県南部、県中部、県北部の3ヶ所のデータを一度に分析すると県中部単独より推定精度が低下し、現時点では岩手県内を一つの推定式で予測するのは困難と考えられた。
7. 標高差のある草地での1番草乾物収量予測ではデータの蓄積期間が短かったにも関わらず精度の良い推定($R^2=0.95$)が可能であった。

V. 引用文献

- 1) 泉川澄男・畠山貞雄・佐々木忠勝・畠山均. 1987. 水稻の出穂特性と出穂の予測、岩手県立農業試験場研究報告26: 48-61
- 2) 田村良文・竹澤邦夫・金野隆光・小野祐幸・清野裕・門馬栄秀. 1989. ノンパラメトリック法を用いた温度影響評価によるトウモロコシの絹糸抽出予測、日本作物学会記事58(1): 48-54
- 3) 田村良文. 発育ステージの予測モデルとその実用化(1)-とくにノンパラメトリック法を中心に-. 1989. 農業技術44(9): 13-16
- 4) 高野信雄・佳山良正・川鍋祐夫編. 1989. 粗飼料・草地ハンドブック: 230-231
- 5) 杉山高一・千葉芳雄・吉岡 茂. 1986. 応用多変量解析. インフォメーションサイエンス
- 6) 逢坂憲政・橋本俊明. 1989. 牧草の生育・収量に関する草地の経年化と気象要因. 青森県畜産試験場報告15: 43-52
- 7) Mitchell, K.J. (1956) N.Z.J.Sci., Techol, A37: 203-216