

## 北海道の自然環境の違いによる乳質への影響について

加 藤 勲<sup>1)</sup>・勝 田 健 司<sup>2)</sup>・熊 野 康 隆<sup>3)</sup>・金 子 正 美<sup>1)</sup>

### Effect of milk quality by natural environmental change in Hokkaido

Isao KATO, Kenji KATSUTA, Yasutaka KUMANO and Masami KANEKO

(Accepted 13 January 2009)

#### 1. 緒 言

北海道は全国で飼養されている乳牛の約 52%にあたる、85 万頭が飼養されている。また、生乳生産量においても、全国の約 47% (380 万 t/年) を占める日本有数の生乳生産地である。飼養されている乳牛の約 95%は北欧原産のホルスタイン種であり、冷涼な気候下で飼育・育成されたことから、本州のような高温多湿の環境での飼養には適さない品種と考えられる。このことから、ホルスタイン牛は暑熱に対する耐性が低く高温多湿の環境下に長時間さらされることによる泌乳量・乳質・繁殖率の低下は、これまでの研究により広く知られている<sup>1,2)</sup>。このため、北海道はホルスタイン牛の飼養には日本で最も適した地域であるといえる。しかし、北海道は日本の他の地域に比較して面積が広大であり、乳量や乳質、特に乳質に関して地域差がみられる。例えば北海道酪農検定検査協会の 2003 年度支庁別合乳体細胞数検査成績書によると、体細胞数 30 万/ml 以下の割合が最も高い根室支庁 (96.3%) と比較して留萌支庁では 57.3%となり、これら支庁間で約 40%もの差が認められる。

一般的に乳牛の乳量・乳質を決定付ける主な要因は遺伝的、飼養的、環境的要因だとされている<sup>3)</sup>。しかし、遺伝的要因は生産能力の低い乳牛 (乳量の低い乳牛)は淘汰されている状況を踏まえると、乳量・乳質においては酪農家間での差はあるが、地域間で差が現れることは考えにくい。また、飼養的要因は衛生面や飼養管理の方法において酪農家によって違いはあるものの、農家収入に直接結びつくことから、

地域間で差が出ることは考えにくい。一方、環境的要因 (本研究では自然環境を指す) については、北海道農業試験場の調査 (平成 11 年) によると泌乳量、乳成分、繁殖率が気温差を要因として地域的な傾向が認められたとの報告がある<sup>4)</sup>。このことから、地域的な環境要因の違いが乳質にどのように影響するか検討した。

北海道は他の地域に比べて面積が広大で環境条件 (気象条件) が地域によって異なることはよく知られている。これら気象条件が乳量、乳質にもたらす影響は前記の高温多湿に関する研究が主であり、他の気象条件による乳牛への影響については、あまり研究されていない。例えば、高温多湿な環境以外に、降水量、積雪量、地形、標高等の自然環境条件の違いが乳牛へストレスをもたらすことが推測され、これら要因が、乳牛に体調変化をもたらし、生乳中の各成分含量、細菌数、体細胞数に影響すると考えられる。この多様な環境条件と乳質との相関を明らかにすることは今後の飼養管理において有効な情報を得られ、今後の乳量と乳質の向上に繋がると思われる。

以上のことから本研究では、生乳中の一般細菌数と体細胞数の検査結果と気象値のデータを用いて、近年、農業分野においても活用されている GIS (Geographic Information System) による解析を行った。

#### 2. 解析データの種類と解析ソフト

##### 1). GIS の概要<sup>5,6)</sup>

GIS は現在多様な分野での導入が開始されてお

<sup>1)</sup> 酪農学園大学環境システム学部生命環境学科

Faculty of Environmental Systems, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

<sup>2)</sup> 酪農学園大学酪農学研究科

Department of Dairy Science Research, Rakuno Gakuen University Graduate School, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

<sup>3)</sup> 北海道酪農検定検査協会

Hokkaido Dairy Milk and Testing Association, Chuou-ku kita 4 nisi 1, kyousaibiru, Sapporo, Hokkaido, 060-0004, Japan

り、農業をはじめとする第1次産業も例外ではなく、土地利用の経年変化や将来の土地利用計画においても活用されている。また、生態系の変化を時間的な経過と共に空間的な変化を追跡することによって、野生生物の生息と生態系の関わりなどを解析する際にも自然環境を広域的に捉えることができ、従来は不可能であった点と面での研究を進めることができる。さらに、統計調査による情報を関連させることにより商圈分析など市場調査の分野や都市開発での将来へのライフラインの構築等にも使用されており、現在、これらの分野では必要不可欠なツールとなっている<sup>7,8)</sup>。

この様に、GISは地図上に複数のデータを重ねることによって狭域、広域共に重層的に捉えることができるシステムであることから、あらゆる分野で今後益々利用されることが期待されている。

農業分野では農地管理などで活用されており、例えば、農地台帳の所有者、耕作者、作付作物、作付面積、農業基盤整備に関わる履歴などを地図上で管理することも可能である。さらに、近年はリモートセンシングの技術的向上に伴い土壌汚染度、水稻タンパク含有量・水質状況も把握することも可能である<sup>9)</sup>。本研究では乳質における地域的な評価を行うため環境条件（気象値）のデータから乳質に及ぼす影響について統計解析を行い、時系列ではなく空間的にみた乳質における地域的な評価を行った。

## 2). GIS データ

環境要因解析のため、国土数値情報気象値メッシュデータを国土交通省 HP からダウンロードした<sup>10)</sup>。また、国土数値情報気象値メッシュをそのまま使用すると、山地や市街地等乳牛飼養と関係のないエリアの気象値が反映されるため、土地利用 GIS データを用いて牧草地のみの気象値を抽出した。

## 3). 乳質データ

乳質データには生乳検査事業成績書（北海道酪農検定検査協会）の受入箇所別検査成績書の細菌数 ml 当たり 1.4 万個以下の割合（%）及び体細胞数 30.4 万個以下の割合（%）のデータ（平成 13～15 年の 3 ヶ年）を使用した<sup>10,11,12)</sup>。

細菌数 1.4 万/ml 以下割合：生乳 1 cc 当たりに含まれる細菌数が 1.4 万個以下で、この割合が高いほど、良質の生乳であることを示している。

体細胞数 30.4 万/ml 以下割合：生乳 1 cc 当たりに含まれる体細胞数が 30.4 万個以下で、この割合が高いほど良質な生乳であることを示している。実際

には細菌数が少ない生乳ほど同様に体細胞数も少ない傾向にあることが解っている。

## 4). 解析ソフト

解析ソフトには ESRI 社 ArcView3.2 を使用した。

## 5). 対象エリア

対象エリアは受入箇所別のデータを使用した。それを作成するために、市町村界の境界線を生乳受入箇所別の境界線に修正するために 1/5 万分の国土数値地図を重ねて、ポリゴンの分割を行った。その結果、北海道を 119 のエリアに区分したのが区分図であり、（本研究で示している北海道はすべて 119 のエリアに区分した区分図である）図の全てに生乳受入箇所の地域の区分が線引で示されている。なお、上川支庁に関しては受入箇所数が構成市町村に対して 4 箇所のみであったために旭川を代表地域として統計処理をした<sup>15)</sup>。

# 3. 結 果

## 1). 実測地での細菌数の地域的傾向

図 1～3 では青から茶色に細菌数が少なくなっていることを示している。最も茶色の部分の細菌数が 1.4 万/ml 以下であり、その傾向が 2001 年より 2002 年、2003 年と茶色部分が増加し、生乳中の細菌数が急速に減少していることを示している。しかし、道南・石狩（中央部）・空知南部地域の一部が 3 ヶ年とも低く、十勝や根室、宗谷（オホーツク海側）等の北海道でも代表的な生乳生産地では高い値（細菌数が極めて少ない生乳を生産していること）を示している（図 1～3）。

## 2). 実測地での体細胞数の地域的傾向

同様に 2001～2003 年度の体細胞数の推移をみると細菌数と同様に経年的に減少傾向にあるものの、分布傾向としては、日本海側を中心に低い値を示している。一方、十勝・根室・宗谷（オホーツク海側）では、細菌数と同様に高い値を示す結果となっている（図 4～6）。

## 4. 統計解析による要因分析

環境要因と細菌数及び体細胞数の関係を、国土数値情報気象値メッシュデータを用いて単回帰分析により相関を分析した。この結果、表 1 の通り気温平均及び降水量が負の相関を示した。さらに気象値として、温度指数と 8 月と 2 月の気温と細菌数、体細

■細菌数 1.4 万個/ml 以下の割合（%），体細胞数 30.4 万個/ml 以下の割合（観測値%）

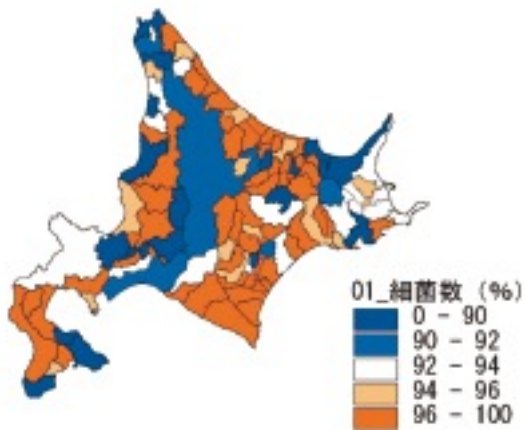


図 1 2001 年細菌数

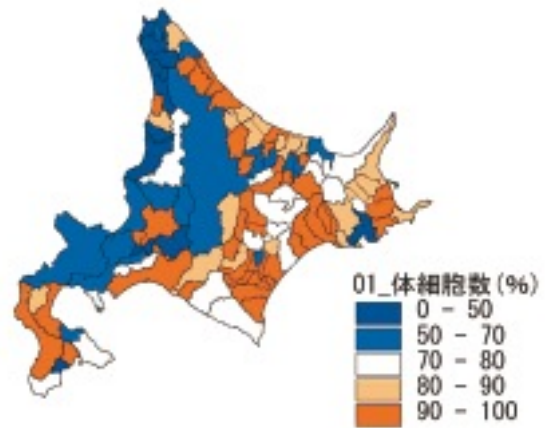


図 4 2001 年体細胞数

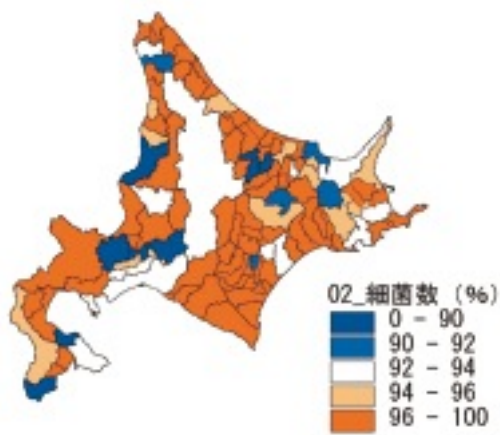


図 2 2002 年細菌数

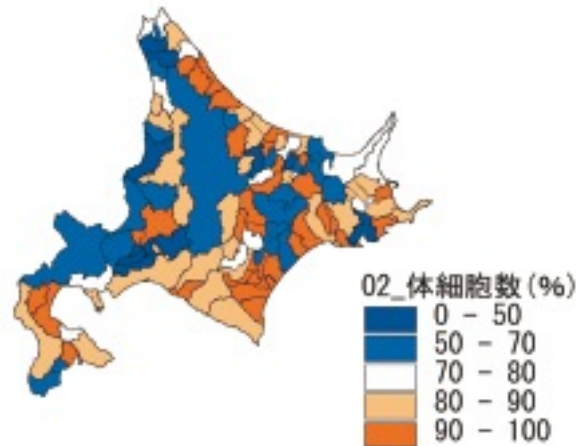


図 5 2002 年体細胞数

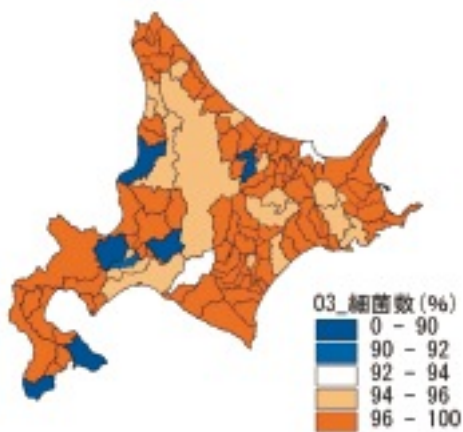


図 3 2003 年細菌数

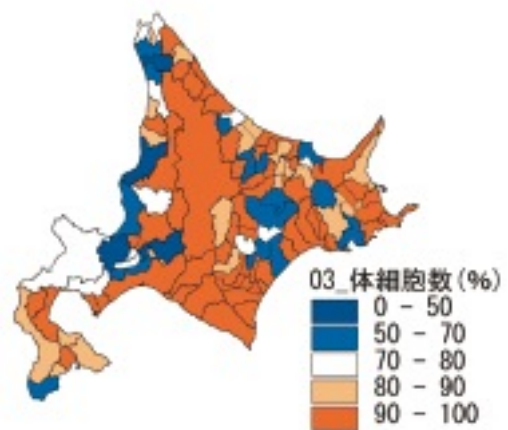


図 6 2003 年体細胞数

表 1 乳質と気象値の相関関係(1)

区 分	観測値	細菌数	体細胞数
気 温 平 均	平均値	負の相関	負の相関
	最大値	負の相関	負の相関
	最小値	負の相関	負の相関
降 水 量	平均値	負の相関	負の相関
	最大値	負の相関	負の相関
	最小値	負の相関	負の相関

胞数との相関を見ると、表 2 のような関係が明らかになった。

この結果から、偏回帰係数は小さいものの一応の相関はみられたが、さらにどのような環境要因が重複することにより、乳質に変化を起こすかを解析するため、重回帰分析を行った<sup>15,16,17,18)</sup>。

重回帰式には以下の式を用いた。

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 \cdots$$

Y：目的変数 X：説明変数

表 2 乳質と気象値の相関関係(2)

区 分	観測値	細菌数	体細胞数
温 量 指 数	平均値	負の相関	負の相関
	最大値	負の相関	負の相関
	最小値	正の相関	負の相関
8 月気温高年	平均値	負の相関	負の相関
	最大値	負の相関	負の相関
	最小値	正の相関	負の相関
2 月気温低年	平均値	負の相関	負の相関
	最大値	負の相関	負の相関
	最小値	負の相関	負の相関

B：変数回帰係数  $B_0$ ：定数項

目的変数には細菌数 1.4 万個/ml 以下の割合(%)、体細胞数 30.4 万個/ml 以下の割合(%)を用いた。説明変数には表 3 の項目(気温、気温高年、気温低年、降水量、温量指数、積雪、多雪年、少雪年)を使用した。変数選択は変数増減法を使用し、取り込まれた説明変数から理論値を求め観測値と比較した。

#### 1). 2001 年細菌数の割合(%)

変数増減法の結果、取り込まれた説明変数は温量指数が負の相関を示した。偏回帰係数は -0.35 で定数項は 113.66 となった(表 4)。この数値を回帰式に取り込み理論値と観測値を比較すると、数値の低かった石狩・空知南部では観測値 90.0~94.0%、理論値では 85.0~92.0%を示し、ほぼ同様の数値となっている。また、観測値の数値が高かった根室と比較しても、観測値 94.0~100.0%、理論値 94.0~105.0%ではほぼ同様の数値が認められた(図 7)。

温量指数：植物分布を表すために用いる指数で、一年間の月平均気温で 5℃以上の月を取り上げ、その月の気温の平均値より 5℃差し引いた温度の積算値のことである。その月の平均温度を植物が生長する指数として表すことができる。

#### 2). 2002 年細菌数の割合(%)

変数増減法の結果、取り込まれた説明変数は 2001 年同様温量指数が負の相関を示した。偏回帰係数は -0.36 で定数項は 115.87 となった(表 5)。この数値を回帰式に取り込み理論値と観測値を比較する

表 3 説明変数に用いた気象値

区 分	年間	1 月	2 月	3 月	5 月	8 月	11 月	12 月
気温	○		○		○	○	○	
気温高年	○		○		○	○	○	
気温低年	○		○		○	○	○	
降水量	○		○		○	○	○	
温量指数	○							
積雪		○	○	○				○
多雪年	○							
少雪年	○							

表 4 2001 年細菌数

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
温量指数	-0.35	-0.19	4.19	2.05	0.04	*	0.17	-0.19	-0.19	-0.69	-0.01
定数項	113.66		136.29	11.67	0.00	**	9.74			94.37	132.96

\*：1%誤差

\*\*：5%誤差

表 5 2002 年細菌数

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
温量指数	-0.36	-0.29	10.28	3.21	0.00	**	0.11	-0.29	-0.29	-0.58	-0.14
定数項	115.87		328.36	18.12	0.00	**	6.39			103.20	128.54

\* : 5 % 誤差

と、数値の低かった石狩・空知南部では、観測値 90.0~94.0% で理論値では 87.0~95.0% とほぼ同様の数値が認められた。また、根室と比較すると、観測値 96.0~100.0% であるのに対して理論値でも 96.0~102.0% とほぼ同様の数値が認められた (図 8)。

### 3). 2003 年細菌数の割合 (%)

変数増減法の結果、取り込まれた説明変数は 2001・2002 年同様温量指数で負の相関を示した。偏回帰係数は -0.18 で定数項は 107.18 となった (表 6)。この数値を回帰式に取り込み理論値と観測値を比較すると、数値の低かった石狩・空知南部では、観測値 90.0~96.0% で理論値では 92.0~96.0% とほぼ同様の数値が認められた。また、根室と比較すると、観測値 96.0~100.0% であるのに対して理論値でも 96.0~100.0% とほぼ同様の数値が認められた (図 9)。

上記のように 2001~2003 年まで、温量指数が細菌

数の増加に負の相関を示した。このことから温量指数が低いほど、細菌数が増加する関係にあるといえる。

### 4). 2001 年体細胞数の割合 (%)

変数増減法の結果、取り込まれた説明変数は 5 月の降水量、5 月の気温高年が正の相関を示し、8 月気温高年が負の相関を示した。偏回帰係数は 5 月降水量が 0.30、5 月気温高年が 11.83、8 月気温高年が -12.48 で定数項は 155.70 となった (表 7)。この数値を回帰式に取り込み理論値と観測値を比較すると、数値の低かった天北では、観測値 0.0~70.0% で理論値では 35.0~72.0% とほぼ同様の数値が認められた。また、根室と比較すると、観測値 80.0~100.0% であるのに対して理論値でも 81.0~124.0% と最大値はやや乖離していたが、最小値ではほぼ同様の結果となった (図 10)。

表 6 2003 年細菌数

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
温量指数	-0.18	-0.20	4.75	2.18	0.03	*	0.08	-0.20	-0.20	-0.35	-0.02
定数項	107.18		509.21	22.57	0.00	**	4.75			97.77	116.60

\* : 1 % 誤差

\*\* : 5 % 誤差

表 7 2001 年体細胞数

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
降水量 5 月	0.30	0.34	14.14	3.76	0.00	**	0.08	0.34	0.32	0.14	0.46
気高年 5 月	11.83	0.66	23.68	4.87	0.00	**	2.43	0.42	0.11	7.01	16.64
気高年 8 月	-12.48	-0.55	15.74	3.97	0.00	**	3.15	-0.36	-0.15	-18.72	-6.25
定数項	155.70		8.04	2.84	0.01	**	54.92			46.85	264.55

\*\* : 5 % 誤差

表 8 2002 年体細胞数

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
降水量 5 月	0.34	0.38	16.06	4.01	0.00	**	0.08	0.36	0.33	0.17	0.50
気温 11 月	-2.58	-0.14	2.13	1.46	0.15		1.77	-0.14	-0.03	-6.08	0.92
定数項	50.35		37.63	6.13	0.00	**	8.21			34.08	66.62

\*\* : 5 % 誤差

■細菌数 1.4 万個/ml 以下の割合（％），体細胞数 30.4 万個/ml 以下の割合（理論値％）

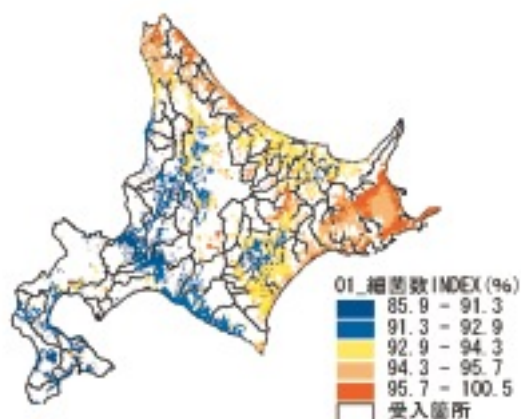


図 7 2001 年細菌数理論値

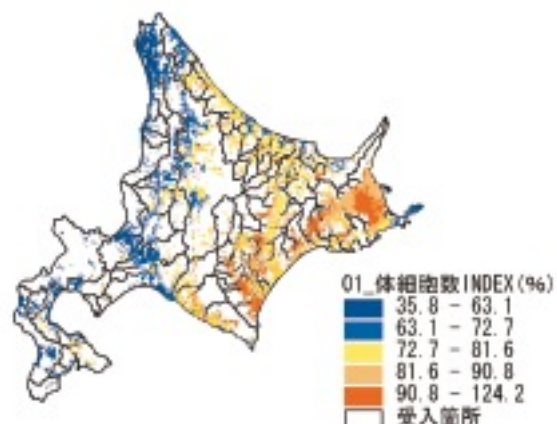


図 10 2001 年体細胞数理論値

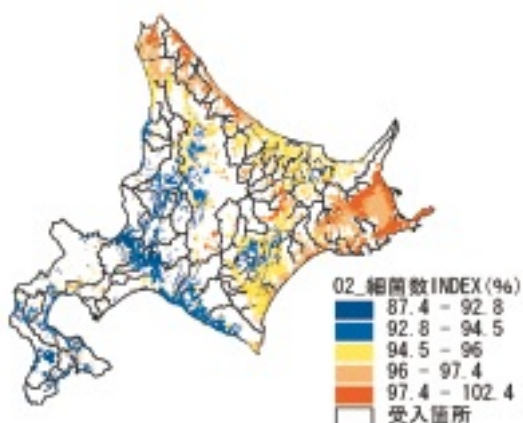


図 8 2002 年細菌数理論値

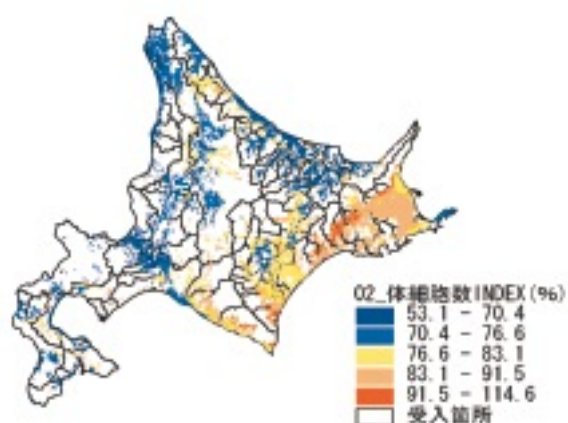


図 11 2002 年体細胞数理論値

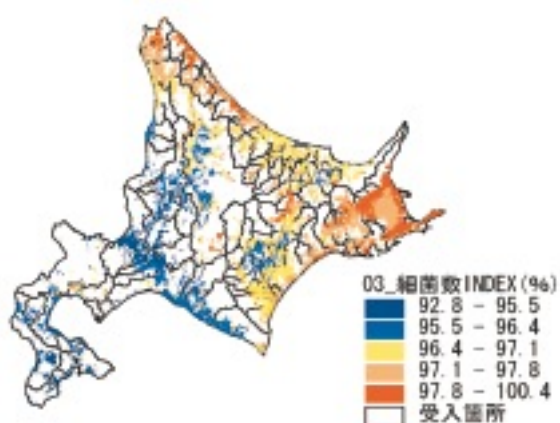


図 9 2003 年細菌数理論値

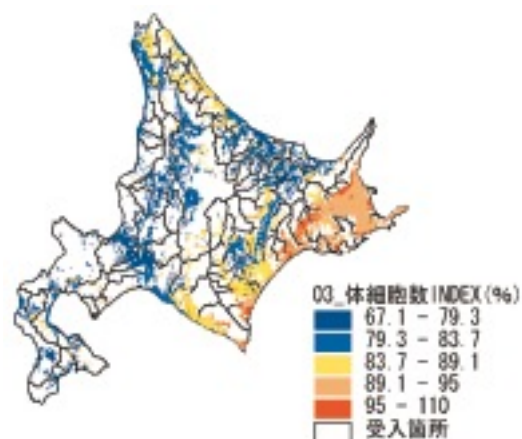


図 12 2003 年体細胞数理論値



### 5). 2002 年体細胞数の割合 (%)

変数増減法の結果, 取り込まれた説明変数は 5 月の降水量が正の相関を示し, 11 月気温高年が負の相関を示した。偏回帰係数は 5 月降水量が 0.34, 11 月気温高年が -2.58, で定数項は 50.35 となった (表 8)。この数値を回帰式に取り込み理論値と観測値を比較すると, 数値の低かった天北では, 観測値 0.0~70.0%で理論値では 35.0~76.0%とほぼ同様の数値が認められた。また, 根室と比較すると, 観測値 80.0~100.0%であるのに対して理論値でも 80.0~114.0%と最大値はやや乖離していたが, 最小値ではほぼ同様の結果となった (図 11)。

### 6). 2003 年体細胞数の割合 (%)

変数増減法の結果, 取り込まれた説明変数は 5 月の降水量が正の相関を示し, 8 月気温が負の相関を示した。偏回帰係数は 5 月降水量が 0.19, 11 月気温高年が -3.12, で定数項は 126.53 となった (表 9)。この数値を回帰式に取り込み理論値と観測値を比較すると, 数値の低かった天北では, 観測値 0.0~80.0%で理論値では 67.0~83.0%とほぼ同様の数値が認められた。また, 根室と比較すると, 観測値 90.0~100.0%であるのに対して理論値でも 89.0~110.0%と最大値はやや乖離していたが, 最小値ではほぼ同様の結果となった (図 12)。

2001~2003 年の傾向から体細胞数は 5 月の降水量が正の相関, 8 月の気温が負の相関を示す結果となった。これは 5 月の降水量が少なく, 8 月の気温が高いと体細胞数が増加する関係にあるといえる。

以上のように, 乳質に影響を及ぼす環境要因を統計解析から明らかにし, 小さいながらもある程度の相関があることを理論上で示した。このことから, 環境要因による地域的な傾向を見るために重回帰分析を行った。これによって算定した 2001~2003 年の細菌数割合・体細胞数割合の理論値を平均化し, GIS 上の面積が等しくなるよう, 5 段階で等面積分類を行い, 最もランクの高い地域を乳質 A (細菌数 1.4 万個/ml 以下と体細胞数 30.4 万個/ml 以下の生乳を生産している地域), 最もランクの低い地域を乳質 E とした (乳質 A に比較して最も細菌数と体細胞数が



図 13 環境要因による乳質の地域的評価

多い地域)。この結果ランク A には根釧地方 (図 13 の青点円), ランク E には石狩・空知南部及び道南地方 (図 13 の赤点円) となっており, 地域的な傾向が数値的に示すことが出来た。

## 5. 考 察

本研究では GIS を用いて統計的手法によって環境条件の違いが乳質へもたらす影響を解析しようと試みた。その結果, 環境要因が生乳の品質に影響を与えることが, 地域的な傾向として現れるとの, 一応の結果を示すことができた。しかし本研究における, 乳質のデータと環境要因としてあげた気象値は年度に違いがあり, 解析が正確にできない部分も大いにある。これには, まず 3 次メッシュ毎の毎年の気象値が公開されていないことが, 最も大きな理由である。このために年度の違う気象値を使用した, 使用した気象値のデータは過去 30 年間の平均値であることから, 概ね正確な気象値とも言える。本来ならば毎年の気象値を用いて年度別の乳質のデータから解析する時系列的な解析を行い, 年度別に詳細に比較することが最も望ましい方法である。例えば, 体細胞数について天北地域が他地域と比べて数値が悪く出ていたが, これに関しては他の気象ファクターとして, 例えば風速や日射量を追加していけば, より明確な傾向が表れると考える。しかし, これら

表 9 2003 年体細胞数

変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	下限値	上限値
降水量 5 月	0.19	0.25	7.06	2.66	0.01	**	0.07	0.25	0.29	0.05	0.34
気温 8 月	-3.12	-0.16	2.95	1.72	0.09		1.82	-0.16	-0.22	-6.73	0.48
定数項	126.54		11.18	3.34	0.00	**	37.84			51.55	201.53

\*\* : 5%誤差

のデータはまだ未整備な状況にある。

乳質のデータとして用いた生乳 ml 当たり細菌数 1.4 万個以下、同様に体細胞数 30.4 万個以下とは非常に良質の生乳であり、本研究ではこの数値を基準にして解析をおこなった。しかし、この数値以上の生乳でも、他の府県と比較すると極めて良質な生乳の分類に入るの、数値が低いということは比較のために述べていることで、地域的に低品質の生乳を生産しているという意味ではない。北海道の生乳は非常に良質であり、これには飼養技術の向上や遺伝的な向上が最も寄与している。本研究の環境的要因による乳質の変化は一つの要因にすぎないが、乳質に影響する環境要因を解析することは今後、生乳品質の向上を図る上で一つの指標になるのではないかと考える。このため、更にデータを追加して解析を行い、データベースを構築していく必要がある。また A ランク及び E ランクの地域で経営形態が類似した酪農家の協力を得て、本格的な気象データを用いた同一地点での長期間にわたる継続的調査が必要であると考える。

## 6. 謝 辞

本研究の一部は酪農学園大学・短期大学部共同研究 (2004 年度共同研究) の助成を受けたものである。

## 7. 引用文献

- 1) 異常高温・多雨等が農畜産物に及ぼす影響と今後の対策：扇勉 2000 北海道農業試験場資料
- 2) 新 乳牛の化学：山本禎紀 1987 農文協 p. 183-189
- 3) 乳牛の飼養と乳質改善：和田宏著 1975 明文書房 p. 85-95
- 4) 家畜飼育の基礎：並河澄 2000 農山漁村文化協会 p. 10-35
- 5) GIS データマイニング入門：高山勉 2001 東洋経済 p. 10-12
- 6) GIS の応用：Carol A. Johnston 2003 森北出版株式会社 p. 19-43, 82~102
- 7) GIS の原理と応用：巖網林 2003 日科技連 p. 257~258
- 8) GIS・地理情報システム：町田聡 2004 山海堂 p. 64~69
- 9) ゆびきだす時代：山村悦夫 2004 北海道産学官研究フォーラム p. 169-170
- 10) 生乳検査事業成績書：2002 北海道酪農検査検定協会
- 11) 生乳検査事業成績書：2003 北海道酪農検査検定協会
- 12) 生乳検査事業成績書：2004 北海道酪農検査検定協会
- 13) ザ・体細胞：W ネルソン フィルポット 1990 株式会社 NYS p. 86-90
- 14) 牛の乳房炎：有田忠義 1991 畜産出版社 p. 10-26
- 15) 統計学の基礎：上田尚一 2002 朝倉書店 p. 35-49
- 16) Excel データ分析：I/O 編集部 2005 株式会社工学社 p. 98-150
- 17) 回帰分析の話：蓑谷千鳳彦 1985 東京図書株式会社 p. 18-19
- 18) Excel で学ぶ統計学入門：長谷川勝也 1998 技術評論者 p. 20-30
- 19) URL [http://www.nihon\\_shokusei.co.jp/dictionary/dictionary.html](http://www.nihon_shokusei.co.jp/dictionary/dictionary.html)

## Summary

The purpose of this study is to examine the effect of climate on milk quality by using GIS (geographic information system) techniques. It is well known that 47% of milk production in Japan is from the Hokkaido province.

The production of milk is affected by various factors, for example, climate, feeding management, soil condition, grass quality, and the weather. However, dairy farmers have improved the processes involved in milking cow management, which has made it possible to achieve continued production of high-quality milk in different environment conditions. In spite of these advances, there are still some differences in the quality of milk (bacterial and somatic cell counts) produced in some areas in Hokkaido. In this study, we have attempted to illustrate these differences by using GIS. The data meaning of each year's temperature and precipitation were recorded and statistically analyzed.