農業気象 (*J. Agric. Meteorol.*) 54 (4): 353–357, 1998

家畜体重の遠隔測定及び畜舎の熱環境の改善と普及

皆 川 秀 夫

(北里大学獣医畜産学部)

Remote Measurement of Animal Weight and an Improvement and its Extension in Thermal Environment Control for Animal Barns

Hideo MINAGAWA

(School of Veterinary Medicine and Animal Sciences, Kitasato University,
Higashi 23-35-1, Towada, Aomori, 034-8628 Japan)

1. はじめに

動く生物、体温のぬくもりのある生物に魅せられて18年目を迎えました。このたびは伝統ある日本農業気象学会普及賞を受賞することとなり、私はこれまでの研究成果や普及活動が評価されたことに対し感謝するとともに、学会賞審査委員会および評議委員会に対し深く感謝申し上げます。

私の受賞対象テーマは標記のように畜産に関するもので、動物を対象とした研究では鈴木親砥氏による「蚕糸気象に関する研究」(1957年)について2番目、家畜を対象とした受賞では初めてではないかと思います。

わが国の農業気象は植物や温室を対象とした研究が多数を占めます。この最大の理由は、植物の生長に気象が大きく関わっているためと考えられます。一方、家畜や畜舎を対象とする「畜産気象」の研究はあまり注目されませんでした。この理由として、家畜は体温の恒常性を有するため、気象変化に対する適応性が高く、暑熱環境を除けば気象が家畜の成長に及ぼす影響は植物に比べ顕著とはいえないこと、わが国の畜産は食肉が解禁された明治時代より発展した新しい農業で、稲作や畑作・園芸に比べ歴史が浅いこと、畜産の盛んな地域が北海道、北東北、北関東、中部、南九州などに偏在化しているためこれら以外の地域では「畜産気象」を研究することが容易でないこと、が指摘できます。

しかし、日本人の成人1人1日当たりのタンパク質摂取量は1996年度90.2gで、そのうち53.2%を動物性タンパク質が占め、このうち約60%が畜産物であり、その残りを占める水産物を1976年以降上回って、魚食民族といわれる日本人像が肉食民族に変貌しつつあること、

わが国の畜産は稲作や畑作・園芸といった耕種農業に並ぶ生産額を有し、農業のなかで基幹産業として発展していること、飼料の大半を海外からの輸入に依存した飼料基盤の弱い産業のため経営規模の拡大が著しく進み、とくに養鶏や養豚では高能率生産を目指した畜舎の自動制御化が進展していること、さらに耕種農業では農薬の規制や有機農産物への関心から家畜の糞尿を堆肥や活性水として利用する需要が高まっていること、などから畜産とそれに密接に関わる「畜産気象」の重要性は増えています。

ここでは、研究の背景や受賞内容を紹介するとともに、わが国の畜産の現状、問題点、および将来を展望し、「畜産気象」について理解を深めてもらうことをねらいとします。

2. 植物から動物へ

このように畜産を大いに宣伝していますが、私は大学では畜産学を学んでいません。大学、大学院ではそれぞれ園芸学、農業工学を専攻し、畜産との出会いは青森県十和田市にある北里大学獣医畜産学部に助手として就職してからのことです。この植物屋から動物屋への転向は研究面で様々な困難を与えましたが、反面、耕種農業および牧畜農業の利点・欠点をそれぞれの立場から客観的にみることができ、わが国の農業の将来を展望するとき有益な示唆を与えてくれる貴重な経験となっています。

2.1 植物と環境調節

さて私は稲作と養蚕を営む農家に生まれ、ごく自然に農学を志望し1974年、千葉大学園芸学部園芸学科に入学しました。この学部は稲作や養蚕の講座はありませんが、野菜・花き・果樹の園芸学については伝統があり、

3年生のとき施設園芸で日本をリードする講座のひとつである園芸環境工学講座を専攻しました。当時、分子生物学が農学にも浸透し始めた頃で、植物の生理や遺伝に関心はありましたが、私は農業を数理的に理解することにより興味があり、温室の熱解析や植物環境のコンピュータ制御など、土臭い農学にあって工学的な色彩を放つ同講座は大変魅力的でした。講座には当時、教授に三原義秋先生、助教授に高倉直先生、助手に林真紀夫先生がおられ、ゼミ、調査旅行、スポーツ(野球)と活気がありました。4年生になると高倉先生は東大に移られ、その後任に古在豊樹先生が大阪府大より着任しました。しかし、古在先生は着任間もなく海外出張することになり、私は主として三原先生に卒論指導を受け、「暖房温室におけるトマトの日出直後の濡れ」について考察し、それがトマトと気温との熱容量の差に起因するとしてまとめることができました。この間の最大の収穫は、日本農業気象学会に入会したこと、および三原先生より「農学論ゼミ」を受講したことです。後者は三原先生の恩師のひとり、盛永俊太郎氏が著した農業哲学の論文を輪読するもので、このなかで「農場のおもな生産物は人間である」との指摘は、農家出身の私に自信と誇りをもたせてくれるものでした。盛永氏の著作は後年、三原先生の編集により著書となり、「私と農学一名著を読むー」(盛永俊太郎著、農文協、1980年)として幸い入手できました。

大学を卒業した後、三原先生の推薦もあり、私は東大の農学系大学院修士課程に進学しました。農業工学科の環境調節工学講座に在籍し、修士2年、博士1年の計3年間お世話になりました。講座は教授の立花一雄先生、助教授として千葉大でお世話になった高倉直先生、講師に岩崎代志治先生、助手に長野敏英先生がおられ、さらに院生の先輩には蔵田憲次氏、島地英夫氏、岡田益己氏、佐瀬勘紀氏、同輩に仁科弘重氏、後輩に本條毅氏、平藤雅之氏があり、人いきれするほどゼミ、議論、スポーツ(テニス)が活発な研究室でありました。私は主として立花先生の指導を受け、修士論文として「温室被覆材であるPEとPVCの保温性の差」を考察し、長波放射と対流熱伝達の特性よりその差を説明することができました。後年この研究は2報にまとめられ農業気象に投稿でき、私の研究者としての出発点となりました。この間の最大の収穫は、数学に対する理解が深まったこと、および国際感覚を経験したことです。前者は、立花先生より主として解析のゼミを受け、工学部の講義も聴講し、難しい微分方程式の解法に親しみました。後者は、三原先生が大会長、高倉先生が事務局長となって進められた「施設園芸国際シンポジウム」(京都・東京、1978年)を手伝い、海外の研究者に初めて接し、大きな刺激となりました。

た。

2.2 動物との出会い、ふれあい

「畜舎の環境」を研究せよ、私に与えられた研究テーマはこのようものでありました。北里大学獣医畜産学部に畜産土木工学科が創設された1981年、東大を定年退官され、講座主任となられる立花一雄先生とともに私は十和田に赴任しました。講座は畜産施設造構学で畜舎の構造と環境を研究します。植物から一転、動物とのふれあいが始まりました。

この広大な三本木原台地の畜産はどうなっているのか、1回生とともに十和田市役所の畜産課を訪ね、多数の畜産農家を紹介していただきました。肉用牛、養豚、養鶏、酪農など各種の畜産農家があり、いずれも先進的な経営を展開している農家が多く、ここが北海道や南九州とともに日本有数の畜産地帯であることを知りました。また立花先生とともに畜産施設学の権威を北海道を訪ね、北大の堂腰純教授、干場信司博士、および帯広の獣医師、太田龍太郎氏の案内で多数の酪農施設を見学、それらの問題点を教えていただきました。さらに家畜環境生理学の第一人者、山本禎紀教授を広島大に訪ね、牛や山羊のエネルギー代謝の測定法を学びました。このように、研究の初期に畜産農場を多数見学し、さらに権威を訪ね教えを請うことは、研究の展開に極めて有益であると実感しました。

4年後、立花先生は北里大を退任され、その後任に筑波大より市川忠雄先生が着任されました。私は以後も研究を続け「快適で効率的な畜舎とはどのようなものか」、「家畜における畜舎の換気と断熱の意義は何か」といった観点から、博士号を目指す研究が始まりました。学内では日本短角種と牛舎とを対象に熱収支の計測、十和田市内の養豚農場や岩手県畜産試験場では畜舎の熱環境調査、図書館では文献収集、研究室ではコンピュータによる畜舎熱環境のシミュレーションモデルの構築など、毎日が充実し、かつ不安と緊張の連続でした。幸い着任後9年目にして高倉先生および蔵田先生のご指導のもと東大より博士号を取得できました。その研究の要点は、家畜は体内温度一定の発熱体であり、このため畜舎の断熱と換気によりその熱放散量は変化し、家畜の飼料効率も大きな影響を受けるということです。これより畜舎の断熱や換気の意義が明確になり現在、断熱材や換気扇を積極的に使用したウィンドウレス畜舎の建設が全国で増加しつつあります。

この間の最大の収穫は研究への励ましでした。高倉先生は大学院の講義で2年に1度北里大に來られ研究の指導をしていただきました。古在先生は手紙で「その土地を愛しなさい」と助言、これは大切な言葉となりました。

弘前大のト蔵建治教授および農環研の岡田益己博士(現、東北農試)は研究の進捗状況を時折尋ねられ、情性に陥る心に刺激となりました。

3. 家畜体重の遠隔測定及び畜舎の熱環境の改善と普及

その後研究は細分化し、1) 画像処理による家畜の体重推定装置の開発、2) 畜舎の経済的最適環境制御の研究、3) 家畜の効率的な糞尿処理施設の開発、4) ヤマセ気象・農業情報ネットワークの研究、と発展しつつあります。そのうち受賞対象の研究は1)および2)です。

3.1 家畜体重の遠隔測定

家畜の体重を定期的に計測することは家畜の発育度を把握し、以後の適切な飼料配合や温度管理などを決定するための重要な作業です。しかし家畜の体重計測では従来の平衡式体重計や歩行型体重計を用いた場合、計測に時間や労力がかかる欠点が指摘されています。そこで家畜の投影面積と体重とが密接な関係にあることを利用し、ビデオカメラの映像から、家畜の体重を非接触方式で推定する方法が開発されつつあります。

この研究は画像処理によって家畜の体重を計測するもので、博士論文の研究(Minagawa, 1988)が端緒となりました。立体写真法により肉用牛5頭の3次元体表形状を計測したところ側方2次元投影面積と体重とに高い相関があることを発見しました(Minagawa, 1994)。そこで33頭の豚を対象にビデオカメラを用いてその上方投影面積と体重との関係を検討したところ極めて高い相関が得られました(Minagawa and Ichikawa, 1994)。さらに供試豚数を約350頭に増やし、上方投影面積と体重との関係を求め、この単回帰式を利用すると、上方投影面積の計測から4 kg～120 kgの豚の体重を約±5%～±7%の精度で推定できることがわかりました(Minagawa, 1997)。品種別の計測により精度はさらに向上しました。また上方投影面積のほかには体高も測定し、それらの重回帰式を用いると、品種によらず豚の体重を精度よく推定できることもわかりました。これらのことよりビデオカメラを用いた非接触方式で豚の体重を精度よく計測する新しい方法が見出されました。

家畜の熟練者は肉眼で家畜の体重を高い精度で推定できると言われています。本研究はエキスパートのもつ識別能力に注目し「電子の眼」で家畜の体重を推定するものです。非接触方式の家畜の体重計は現在、国内外で見当たりません。家畜の2次元画像は体長や体幅も計測でき、成長を詳細に把握できる利点があります。さらに畜房内を常時撮影することで、家畜の異常行動も監視でき、疾病や闘争による死亡の予防にも利用できます。本

研究は家畜管理技術の基礎をなし幅広い応用が考えられ、特許(皆川, 1997)を取得しました。また同様の研究はイギリスのシルソー研究所、デンマークの国立畜産試験場、アメリカのアイオワ州立大学でも試みられており、これらの研究機関と情報の交換を行っています。

この研究の現在の課題は、上方投影面積と体重との高い相関、さらに上方投影面積に体高を乗じた量と体重とより高い相関の理由を位相幾何学的に追求すること、非接触方式による簡易な家畜の体高計測法を見出すこと、体高計測装置を付加した画像処理による家畜の体高・体型・体重計測装置を開発すること、などがあげられます。

3.2 畜舎の熱環境の改善と普及

わが国の畜産の発展は、無関税で輸入される膨大かつ格安な飼料穀物(1996年で約233万t)に大きく依存しています。1996年の飼料自給率は濃厚飼料で約9%、粗飼料を含めた全飼料で約23%に過ぎず、畜産の基盤は極めて脆弱です。そして脆弱な飼料基盤のため経営の規模拡大が進展し、飼料の効率を追求した畜舎が出現しつつあります。

豚、採卵鶏、およびブロイラーでは暑熱ストレスによる家畜の生産性の低下を防ぎ、低温環境での余分な飼料摂取を抑えるため、畜舎内の環境を快適に維持する無窓(ウィンドウレス)畜舎の開発が近年、増加しています。しかしこのような高能率生産施設(ハードウェア)を最大限に利用するためには、畜舎が単に家畜に快適な環境を提供するだけでなく、生産者にとっても「快適さ」を提供するものでなくてはなりません。家畜の生理や環境に加え栄養、経済(飼料価格、暖冷房経費、肉卵価など)の各因子を総合的に関連付け、収益を評価の対象とする経済的最適環境制御アルゴリズム(ソフトウェア)を考え、それに基づいて畜舎の環境を制御することが重要となります。このような観点にたち、以下のような畜舎の熱環境の改善と普及を実践しました。

- 1) 青森県十和田市における養豚研究会(会長、山端康一郎氏、他7名の養豚農家で構成)の既設豚舎の熱環境を改善するため断熱と換気方法の指導を行い、さらに新設豚舎の熱環境設計に協力しました。
- 2) 青森県上北郡野辺地町にある青森県畜産試験場においてウィンドウレス豚舎の開発に協力し、その熱環境を調査するとともに、問題点を指摘し、養豚農家へのウィンドウレス豚舎の普及を図りました。
- 3) 岩手県岩手郡滝沢村にある岩手県畜産試験場(現、岩手県農業研究センター畜産研究所)に1985年、北大の堂腰教授の設計で建設されたオープンリッジ乳牛舎の換気の調査に協力、牛舎における換気的重要性を岩手県や青森県の酪農家に指導しました。

4) 岩手県胆沢郡金ヶ崎町にある(株)岩手シーアイファームの新型ウィンドウレス鶏舎の開発に協力するとともに、採卵鶏舎の経済的最適環境制御システムの創案に貢献しました。

これら実践の成果は、「東北の農業気象」や畜産の普及雑誌に約 30 報にわたり報告されました。なお畜舎の経済的最適環境制御の考えはアメリカのコネル大学 M. B. Timmons 博士とケンタッキー大学 R. S. Gates 博士によって発案され、わが国には 1989 年、当時農工研におられた干場信司博士によって初めて紹介されました。そして私はこれを機に Gates 博士との国際共同研究が進展し、豚の成長モデルに関する論文 (Bridges *et al.*, 1995)を得ることができました。

4. 畜産の現状、問題点、および将来展望

わが国の畜産は肉、卵、乳およびそれらの加工品の生産を通じ、人々に優良な動物性のタンパク質やミネラルを供給する産業として戦後、著しい発展を示してきました。農林水産省統計情報部によれば 1991 年度のわが国の農業総産出額は 11 兆 4500 億円で、このうち畜産が約 3 兆 1,000 億円 (27.1%) を占めました。これはコメの生産額 2 兆 9,200 億円 (25.5%) や野菜の生産額 2 兆 7,700 億円 (24.2%) を上回り、畜産がわが国の農業のなかで初めてトップの座を占めたことになります。このことはわが国の畜産が全体として、飼料穀物の大半を海外からの輸入に依存し、生産性を競う加工型農業形態をなしていることによると推定されます。

このようにわが国の畜産は農業の基幹をなしますが、しかし大きな弱点も抱えています。すなわち悪臭を含む糞尿処理の問題です。わが国の畜産が今後も地域の基幹産業として共存・共栄し、かつ国際競争力を維持していくには、糞尿処理の問題は回避できない大きな課題です。

環境庁によれば最も苦情の多い産業が畜産で、次いでサービス業・その他、個人住宅・アパート・寮、食品製造工場、化学工場の順となっています。畜産への苦情のうち「悪臭」がその大半を占めています。悪臭の主な発生源は家畜の糞尿です。糞尿からの悪臭は、糞尿が酸素の少ない状態、すなわち嫌気状態におかれ、嫌気性微生物が糞尿を分解するときに発生するガスです。このように悪臭は糞尿処理と密接な関係があります。

とりわけ豚の糞尿処理は現在、最も深刻な課題といえます。豚の場合、糞処理よりも、尿処理が大きな課題です。豚の尿処理をさらに困難にすることは、尿を排水基準値まで浄化し、その処理水の河川放流許可を自治体に申請しても、既得権益者の同意を得るのが極めて難しい点です。このため浄化水の場内処理を余儀なくされる養

豚場が全国的に増加しています。

家畜の尿処理は一般的には活性汚泥法といわれる微生物を利用した生物学的処理法で行われています。活性汚泥法を効率的に行うためには次の条件が必要といわれます。

- ・原液中の有機物濃度 (BOD) が 5,000 mg/l 以下
- ・有機物の栄養比が BOD : N : P = 100 : 5 : 1
- ・BOD 容積負荷が 0.2~0.5 kg BOD/m³/日
- ・水温は 10~40℃

実際、豚の原尿には糞も一部含まれ、その有機物濃度 (BOD) は通常、10,000~20,000 mg/l にもなっており、この濃度を 1/2~1/4 に低下させ適値を維持することは極めて難しいのです。BOD 容積負荷の値は曝気容積を決定する因子ですが、この適値を採用すると曝気装置が大規模になり、建設費や維持管理費が莫大になり、経営にも支障をきたす恐れが高くなります。実際の豚尿処理ではこれらの推奨値に対してどこまで許容できるかが重要です。しかしその許容範囲は未知な点が多いのが現状です。そこで新しい試みとして、

- 1) オガクズやモミガラなどの水分調整材を大量に糞尿混合液に散布し、水分の蒸散を促進させるとともに余剰液を土壌に浸透、浄化させる糞尿混合液一括処理方法の開発
- 2) 尿を活性汚泥処理しその一部を活性水として利用する方法の追求
- 3) 糞を炭化させ土壌改良材などへの利用の検討

などに取り組んでいます。結果として耕種農家と畜産農家とが融合し、地域複合農業が生まれることが期待されます。

畜産は極言すれば微生物やミネラルを産出する産業とみることができます。すなわち反芻家畜に代表される牛は、摂取した作物を体内微生物が消化し、その微生物を消化することで栄養を得ています。そして牛の糞や尿を通じて多量の微生物やミネラルが排出され、それを土壌に還元することで作物に利用され、「家畜-土壌-作物」の物質循環が構成されます。「家畜」という文字を分解してみると、家のなかに豚がいて、玄関の前には田圃が広がっていると解釈できます。文字どおり、稲作を主体としたアジアの農耕文明であっても、家畜の存在は無視できないことがわかります。昨今、稲作農家や畑作農家を中心に有機農業への関心が高まっています。この背景には農薬に対する消費者の不安、作物の差別化による収益の向上、地球環境問題への対応、が指摘できます。土壌や作物の低農薬化を実現するためには家畜の存在が不可欠です。「畜産気象」は家畜や畜舎だけでなく微生物や土壌をも環境調節の対象とし今後、有機農業の実現

に大きな役割を果たす分野と確信しています。

5. おわりに

受賞の喜びは、また重荷ともなり、さらなる研究の飛躍が求められます。心地よい重荷として、たのしく負いつづけたいと思います。受賞に際し多くの方々からご支援を賜りました。以下に記して感謝申し上げます。

恩師である三原義秋先生、立花一雄先生、高倉直先生（現、長崎大）にはそれぞれ農業哲学、研究手法、国際感覚という点を学び、多大な影響を受けました。また千葉大の渡部一郎先生（現、農業電化協会）、古在豊樹先生、林真紀夫先生（現、東海大）、東大の蔵田憲次先生、長野敏英先生（現、東京農大）、北大の堂腰純先生（現、日本気象協会北海道本部）、干場信司先生（現、酪農学園大）、弘前大の卜蔵建治先生、北里大の伊藤宏先生、一戸貞光先生、市川忠雄先生、農工研の奈良誠博士（現、ケンコーマヨネーズ（株））には研究の支援、指導、助言を賜りました。

学会支部の活動と研究を通じて、東北農試の井上君夫博士（現、農研センター）、岡田益己博士、阿部博史氏、細井徳夫博士（現、野菜茶試）、小沢聖博士、青森農試の穴水孝道氏、多田久氏には指導、支援を賜りました。また大学、大学院の先輩、同輩、後輩を通じて島地英夫氏（現、野菜茶試）、大原源二博士（現、中国農試）、佐瀬勘紀博士（現、農工研）、仁科弘重博士（現、愛媛大）、石田朋靖博士（現、宇都宮大）、本條毅博士（現、千葉大）、平藤雅之博士（現、農研センター）には研究討論で多大な刺激を受けました。さらに千葉大および東大の研究室の後輩諸兄にも大変お世話になりました。

終わりに、研究成果の大半は毎年専攻する活きのよい素直で研究熱心な北里大専攻生の努力の結晶です。1回生（1984年）から14回生（1997年）までの計116名の専攻生に感謝するとともに、学会賞の推薦を賜った高倉直先生に改めて深謝いたします。

関係業績

- Minagawa, H., 1988: Measurement of cattle body surface area by stereo photogrammetry. *Proc. 3rd Intern. Livestock Environment Symp.* ASAE Pub. 1-88, 179-185.
- Minagawa, H., Saito, S. and Ichikawa, T., 1993: Determining the weight of pigs with an image

analysis system. *Proc. 4th Intern. Livestock Environment Symp.* ASAE Pub. 03-93, 528-535.

Minagawa, H., 1994: Surface area, volume, and projected area of Japanese-Shorthorn cattle measured by stereo photogrammetry using non-metric cameras. *J. Agric. Meteorol.*, **50**(1), 17-22.

Minagawa, H. and Ichikawa, T., 1994: Determining the weight of pigs with image analysis. *Trans. ASAE*, **37**(3), 1011-1015.

Bridges, T. C., Gates, R. S., Chao, K. L., Turner, L. W. and Minagawa, H., 1995: Techniques for development of swine performance response surfaces. *Trans. ASAE*, **38**(5), 1505-1511.

Minagawa, H., 1995: Stereo photogrammetric errors in determining the surface area of a small pig model with non-metric cameras. *J. Agric. Meteorol.*, **51**(4), 335-343.

Minagawa, H., 1997: Estimating pig weight with a video camera. *Proc. 5th Intern. Livestock Environment Symp.* ASAE Pub. ISBN0-929355-84-9, 453-460.

皆川秀夫, 1997: 画像処理による家畜の体重推定法. 日本国特許庁, 特許 2613527 号.

皆川秀夫, 1986: 貯蔵庫・畜舎の環境. 農業気象・環境学, 長野敏英(編), 朝倉書店, 168-182.

皆川秀夫, 1990: コールドバーンの環境設計. 農業施設ハンドブック, 農業施設学会(編), 東洋書店, 325-327.

皆川秀夫, 1995: 家畜生産・飼育施設. 生物環境調節ハンドブック, 日本生物環境調節学会(編), 養賢堂, 466-467, 470-473, 480-483.

皆川秀夫・立花一雄・奈良 誠, 1987: 放射, 風速, ならびに気温が牛の体表温度に及ぼす影響. 家畜の管理, **22**(3), 103-111.

皆川秀夫・立花一雄, 1984: 家畜のエネルギー効率と微気象. 東北の農業気象, **29**, 88-91.

皆川秀夫・立花一雄, 1984: 家畜の熱産生を考慮した畜舎の熱環境設計に関する研究-第2報-畜体の熱環境指標. 東北の農業気象, **29**, 92-96.

立花一雄・皆川秀夫, 1985: 豚舎の環境測定. 農業気象, **30**, 1-4.

皆川秀夫・立花一雄, 1985: 積雪寒冷地の牛舎熱環境. 東北の農業気象, **30**, 5-9.

皆川秀夫・楢館正大・関根豊樹, 1987: 牛の局所顕熱放散量の測定. 東北の農業気象, **32**, 82-85.

皆川秀夫・斉藤 豪, 1988: 立体写真法による牛の体表面積測定. 東北の農業気象, **33**, 79-82.