

星野村棚田における米生産環境評価と良食味米生産 のための指標検討

田上, 賢吾
九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻生産環境情報学研究室

<https://hdl.handle.net/2324/1498266>

出版情報：九州大学, 2006, 修士, 修士
バージョン：
権利関係：

修士論文

星野村棚田における米生産環境評価と
良食味米生産のための指標検討

九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学専攻

生産環境情報学研究室

田上 賢吾

2007年3月

目次

第1章 緒言

- 1.1 はじめに
- 1.2 星野村の概要

第2章 稲の生理

- 2.1 稲の生育段階
- 2.2 分けつ期
- 2.3 幼穂発育期
- 2.4 登熟期
- 2.5 品種について

第3章 現地観測

- 3.1 広内地区の棚田
- 3.2 実験サイト
- 3.3 気象観測
- 3.4 水質測定
- 3.5 結果及び考察

第4章 食味分析

- 4.1 分析方法
- 4.2 食味分析の結果及び考察

第5章 主成分解析による米品質に影響を及ぼす環境主要因の抽出

- 5.1 目的

5.2 結果及び考察

第6章 結論

謝辞

参考文献

第1章 緒言

1.1 はじめに

棚田は米をつくる生産の場としての機能の他に，保水機能，洪水調節機能，土壌浸食防止機能などがある．また，優れた景観を有しており文化的価値も高い．しかし，近年農家の高齢化による担い手不足，急峻な地形で行う過酷な労働環境，近年の米の市場価格の低落，土地・労働生産性が低いなどの要因により，全国で棚田の衰退が起こっている．現在，この棚田の衰退を防ぐために全国各地で棚田オーナー制やグリーン・ツーリズムなどの様々な取り組みが行われている．これらの取り組みは，都市部の住民が休日を利用して農村で農業を行うことや農村で休暇を過ごしてもらうもので，山間地農業への理解を深めることや，農村地域の活性化のための有効な手段として全国各地で多くの成果をあげている．しかし，休日に農業を行うことや村に滞在するのは一時的なものであるため，長期的な視点で担い手不足の問題を考える時，根本的な解決策とはならない．すなわち，将来の担い手確保に向けては，山間地での就農を妨げる要因，すなわち過酷な労働条件の改善，単純な繰り返し作業からの解放という山間地農業の根本的な問題を解決し，農業の魅力改善を図ることが不可欠である．

ところで，棚田の環境は一般に日較差が大きいいため，米作りに有利な環境にあると言われている（北浦ら，1986）．また，水系の上流に位置し，過剰施肥や農薬散布が下流域に影響を及ぼすため，環境負荷の小さい農業が行われる必要がある．このように棚田で行われる農業の方向性は，「環境にやさしく，高品質なものをつくること」，とすることができる．高品質なものをつくと，地域の特産

品が生まれ、地域の活性化に繋がると考えられる。

従って、本研究では、上記の山間地の特色を考慮し、環境に優しく、高品質な米作りを展開するための農作業意思決定支援システムを開発することにより、地域活性化、農業の魅力改善、次世代の担い手確保を目指すものである。

農作業意思決定システムへの活用を目的とした情報化に関わる研究として、従来、土壌センサ、収量モニタリングシステムなどに代表されるセンサ開発が盛んに行われてきた。また、近年、フィールドサーバの開発により、生産環境情報の栽培への利用の試みがなされている。さらに GIS(地理情報システム)を活用したデータマッピング技術も普及してきている。このように、情報を得るハード面、情報を整備するソフト面では農業情報を利用する環境は整いつつある一方、農業生産に関わる様々な環境情報と生産物の品質の関係の解明が進んでいないため、農作業意思決定に活用できる指標は未だに多くはない。

以上の背景から、本研究では、星野村棚田の同一水系に位置する標高の異なる3水田において、稲の生育期間の気象、水質を計測し、棚田の米生産環境を評価した。また、品質に最も影響を与える出穂後20日間の米生産環境のデータを用いて、主成分解析により米の品質に関わる環境要因について検討を行った。

1.2 星野村の概要

Fig.1-1 に、本研究が対象とする星野村の位置を示す。星野村は福岡県南東部に位置し、最も近い DID(人口集中都市)都市の八女市から、路線バスで60分を要する僻地山村にある。Fig.1-2 に示すように、



Fig.1-1 星野村の位置



Fig.1-2 星野村石積みの棚田

村には石積みの棚田が各所に見られる。

星野村の人口は約 3,500 人であり，総面積は 81.28km²である．村の主要作物は工芸作物の茶である．村の至る所で茶が栽培されており， Fig.1-3 の作物生産額の推移から茶の生産が盛んであることがわかる．米の生産においては，経済的に寄与率が低く，

Fig.1-4 に示す田の総面積や耕地面積の推移を見ても下降線を辿る一方である．このように星野村では茶の生産が盛んであり，米の生産においては減少傾向にある．

ところで，この村には 24 の棚田が存在している (Fig.1-5 に示す)．それぞれの地区名は，十籠，的別当，仁田坂，尾流戸，三坂，茅原，尾払，二双，中渡瀬，轟，合瀬，広内，上原，風月原，六丁弓，合瀬耳納，浦の山，棕谷，広野，鹿里，古塚，枯木，藤山，土穴，光延である．この中の，広内・上原の棚田は 1994 年，「美しい日本のむら景観コンテスト」で農林大臣賞を受賞している．また，棚田百選にも選定されているが，高齢化に伴う耕作放棄地や転作が進む中で棚田を維持するのは難しい状況になりつつあるのが現状である．加えて，星野村の農業人口は，

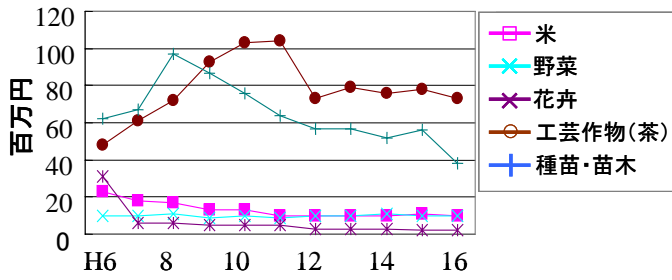


Fig.1-3 星野村の作物別生産額の推移

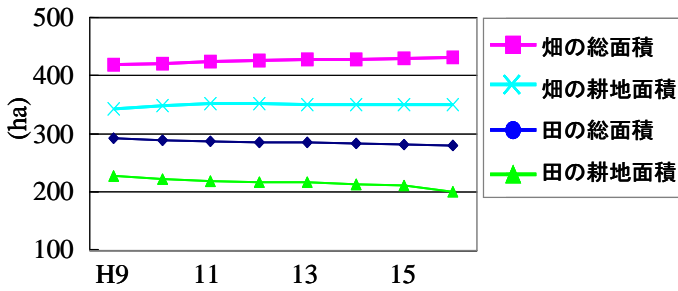


Fig.1-4 星野村の農地面積の推移

平成7年には2,121世帯あったが、平成12年には1,420世帯まで減少している。また、高齢化比率（65歳以上）も平成7年には30.1%、平成12年には

35.4%と5年間で約5%上昇している。このような状況下でも、棚田の保全活動は行わなければならない、将来の担い手確保は重要な問題である。



Fig.1-5 星野村の棚田全図

第2章 稲の生理

2.1 稲の生育段階

稲の生育は，種籾の発芽にはじまり，発芽後は葉や分げつの分化・成長が進み，茎葉が繁茂する．ある時期になると幼穂が分化し，幼穂は幼鞘に包まれて発育し，やがて出穂・開花する．そして，受精・結実して成熟する．このような稲の一生のうち，発芽から幼穂分化期までが主に栄養成長期，幼穂分化期から成熟期までが主に生殖成長期である．前者は稲の体が作られるときであり，後者は種実の成長が行われるときである．

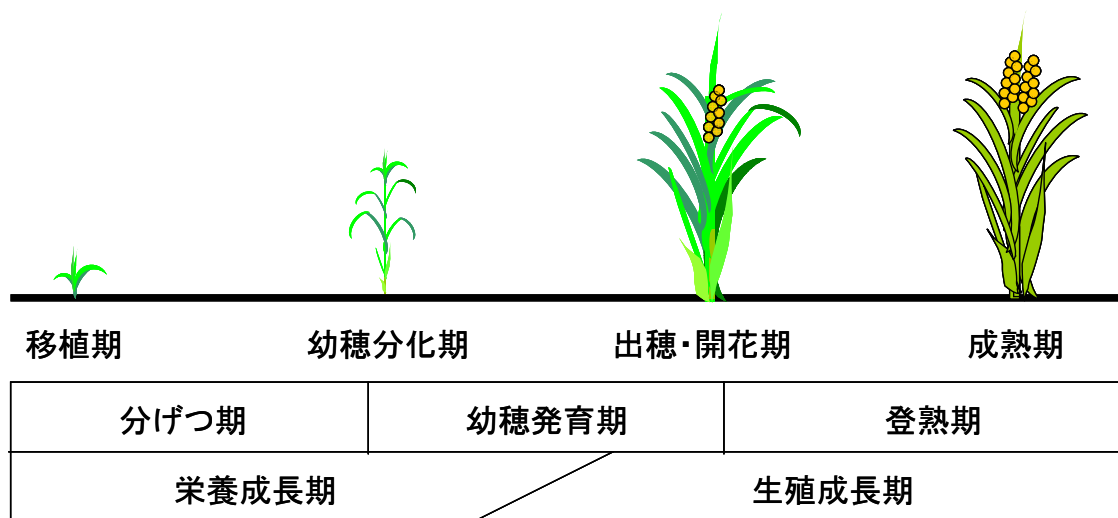


Fig.2-1 稲の生育段階

2.2 分げつ期

(1) 分げつ

田植え後，活着した稲は次々と新しい葉を抽出・展開し，それとともに分げつを増やす．分げつが出現するときは，Fig.2-2 に示すように，主茎の第6葉(L6)が抽出しているときに，第3葉(L3)の葉鞘が，第4葉(L4)の葉鞘からやや開き，分げつ(T3)が出現する．

分げつは，植物一般での枝にあたるが，地表面付近から出現してすぐに根をもち，葉が3枚展開したくらいの時期から，ほぼ独立した生活をする．第1葉(L1)葉腋から出現する分げつを1号分げつ(T1)，第2葉(L2)葉腋から出現するものを2号分げつ(T2)という．

Fig.2-2 に示すように，1号分げつが出現しないことが多い．

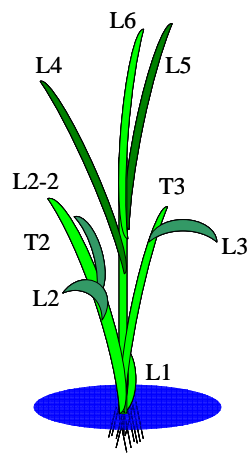


Fig.2-2 第6葉抽出中の稲の模式図

種子から成長した茎を主茎とよび，主茎から出た分げつを1次分げつ，1次から出た分げつを2次分げつとよぶ．通常の栽培では，3次分げつくらいまでが見られる．また，回数に関係なく，分げつを出した茎のことを，その分げつの母茎という．

分げつ期は，田植え後数日から10日ぐらいで活着してから，水田で分げつが増加する時期のことを指す．この時期は様々な環境要因に影響を受ける，特に温度による影響は大きく，夜間温度が低下する場所では，水温が成長点を保護する役目を果たし，その温度管理が品質・収量に大きな影響を与える(北川ら，1995)．

(2) 窒素と光合成

稲は、窒素をアンモニア態，硝酸態，あるいは有機態の形で根から吸収する．吸収された窒素は体内で代謝され，大部分はたんぱく質，特に化学反応を円滑に進めるために必要な酵素の構成元素として存在する．稲の成熟した葉身では，その葉の全窒素のうち 75~85% が葉緑体に存在し，窒素の 80% が光合成に参与している（後藤ら，作物 I）．

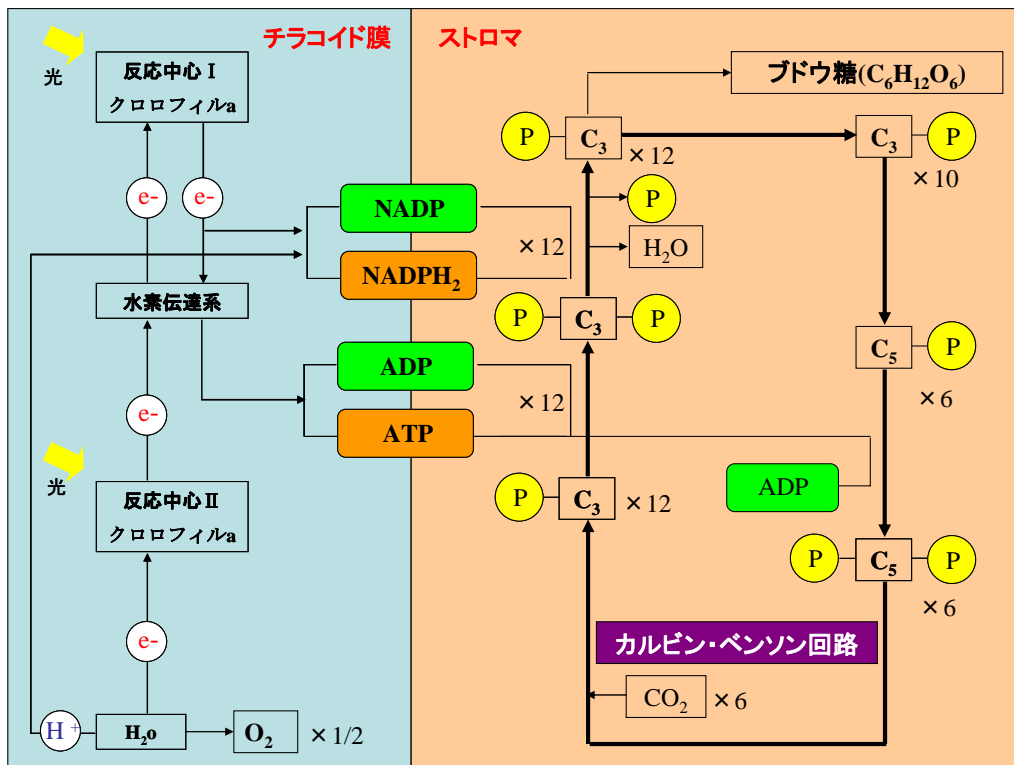


Fig.2-3 ブドウ糖生成過程

Fig.2-3 に示すように，光合成は光エネルギーを利用して，水と CO_2 から糖の合成を葉緑体で行う．葉緑体内にあるチラコイドでは，光エネルギーを得て光化学反応が起こり，水が分解され O_2 が発生し，また ATP と NADPH が生成される．葉緑体のストロマでは，この

ATP と NADPH を用いて CO_2 を固定する反応が進み，その過程で糖が合成される．気孔から取り込まれた CO_2 は葉緑体中に溶け込み，酵素 RuBisCo(リブローズ二リン酸カルボキシラーゼ・オキシゲナーゼ) が働き， C_5 化合物のリブローズ二リン酸 (RuBP) と CO_2 から C_3 化合物のホスホグリセリン酸(PGA)を 2 分子生成する．葉緑体に存在する窒素のうち，可溶性たんぱく質の 40~60% はこの RuBisCo で占められている．この割合は成熟葉の 30~40% に相当し，多くの窒素を用いて CO_2 固定反応を支えている．

2.3 幼穂発育期

(1) 幼穂の分化

稲の穂は，穂首節，穂軸，1 次枝こう，2 次枝こう，穎花から成り立っている．最高分けつ期前後になると，茎頂分裂組織に最上位の葉である止葉が分化し，それから間もなく，茎頂分裂組織はへん平となり，穂首節につく苞の原基がつくられる．このときが幼穂分化期で，どの品種も出穂から約 30 日前頃にあたる．第 1 苞が分化すると，次に 1 次枝こう・2 次枝こう・穎花の順で分化する．

(2) 低温障害

稲は幼穂の発育期間中に低温に遭うと，一部の細胞や組織が障害を受けて穎花が受精できず，そのため実りが悪く減収となることがある（吉田ら，稲作科学の基礎）．

低温により，稲が最も障害を受けやすい時期は，減数分裂期直後で，この時期に低温に遭うと花粉形成に障害が起こる．減数分裂期直後とは，花粉母細胞が減数分裂をして 4 分子となった頃から，4

分子がばらばらになり小細胞が形成された頃までのことである。この期間に気温が最高でも 20℃に満たない日や、最低気温が 15℃以下の日が数日間続くと、花粉や葯が障害を受ける。低温障害を防ぐために、深水管理を行うこと（古谷，1991）、水温が低い場合には、迂回水路や浅い池などで水を温めてから入れるなどの方法が提案されている（後藤ら，作物Ⅰ）。

2.4 登熟期

(1) 登熟期

受精後，玄米がつくされる過程を登熟という。また，開花から収穫までの期間を登熟期という。登熟期は出穂までの成長で生産された光合成産物を，玄米に集積させる期間である。登熟の長さは，品種や栽培時期で異なるが，おおよそ寒地で 45~55 日，暖地で 30~35 日であるとされている。

受精後，子房が成長して玄米の基本的な形態をつくり，玄米の形が大体整うと，デンプンの蓄積が始まる。デンプンの蓄積過程は，乳熟期，糊熟期，黄熟期，完熟期に分けられる。

乳熟期は，デンプン蓄積過程の初期で，胚乳内に高粘度の炭水化物が蓄積しており，指で潰すと中から白い乳汁が出てくる。糊熟期は，デンプンの蓄積が進み，玄米が籾殻内いっぱい成長する頃で，指で籾を押すと，弾力があり，つぶれて糊状となる。黄熟期は籾殻が黄緑色から黄色に変化する頃で，胚乳の水分が減り，粒が硬くなる。完熟期は，胚乳は水分が減って，透明になり，登熟が完了する。

(2) デンプン，たんぱく質の蓄積

葉でつくられた光合成産物は，主に水に溶けたショ糖の形で穂に送られる．穂に光合成産物が送られることを転流と呼ぶが，この光合成産物は，出穂前に生産されたものと出穂後に生産されたものからなる．出穂前に生産されたものとは，出穂までに節間や葉鞘にデンプンとして蓄積されていたもので，主に登熟初期に穂に転流し，玄米の初期成長を促し，稔実割合を向上させる．出穂後に生産されたものとは，登熟期間に行われる光合成産物で，玄米を充実させ，登熟歩合を向上させる．

ところで，デンプンは開花後 5~6 日目頃から急速に集積され，開花後 20 日目頃に最大量に達し，以後一定となる（松尾ら，稲学大成第二巻）．この貯蔵物質の生成を行う反応には，温度の影響が強くこれまで多くの報告がなされている．登熟の温度による影響は，古くからなされ，近年では寺島ら(2001)が，高温が米の品質に与えた影響を明らかにしている．松島・和田ら(1958,1959)は籾のデンプン含有量の増加は17~29℃の範囲で高温ほど転流量が多いことを示した．また，デンプン同様にたんぱく質の集積についても多くのことが明らかになっており，開花後 5 日目以後に集積が急速に行われ，20日に最大となる．たんぱく質の生成においては窒素の供給と関係が深いとされている．

2.5 各実験区で栽培されていた品種

今回は，各実験区で異なる品種が栽培されていたので，その特性について述べておきたい．

(1)上流部：ヒノヒカリ

水稲品種”ヒノヒカリ”は，福岡県で1989年に奨励品種として採用された．その特性は，他の品種と比較して耐病性や耐伏性に劣るものの，”コシヒカリ”並みの食味を備えた品種である．また，稲-麦の二毛作体系の中に組み込むことのできる中生品種であるため，九州地域における主力品種となるものと期待され，1992年度現在では，山麓から一般平坦地を中心に13,226haで栽培が行われている．県内水稲作付面積では約1/4を占めている．（福島ら，1991）

(2)中流部：つくしろまん

水稲品種”つくしろまん”は，早生，食味が優れる，収量性及び玄米品質が同じ熟期の”日本晴”と同程度であるという特性を有する．福岡県では，良食味品種の栽培面積の拡大に努めてきた．その結果，極早生の”夢つくし”と中生の”ヒノヒカリ”に作付が集中し，この2品種で県内水稲の作付面積の80%に達した．このような作付品種の偏りは気象災害からの危険分散の点で問題である．そこで，早生の良食味品種の育成が不可欠であったため，福岡県農業試験場で2002年に早生で良食味品種の”つくしろまん”を育成した（浜地ら，2003）．

(3)下流部：ミネアサヒ

水稲品種”ミネアサヒ”は極早生の短強稈で良食味の特性を有する．また，山間地から山麓地での栽培に適していることが明らかになった（小宮ら，1984）．

福岡県では1984年3月に準奨励品種となっている．

第3章 現地観測

3.1 広内地区の棚田

Fig.1-5 に示すように，広内地区は村の北部の標高 600~800m の耳納山地の南麓にあり，星野川の支流，広内川沿いに集落がある．棚田は，集落が立地する標高 260m から浮羽町に通じる合瀬耳納峠に近い標高 500m までの傾斜 1/6 の斜面に造成されている (Fig.3-1)．棚田の面積は 12.6ha，枚数は 425 枚，1 区画当たりの平均面積は 3a，形態は等高線型が多い．耕作放棄率は 10% 未満と他の地域と比較すると少ないが，近年米の生産調整以後転作が進み，半分近くが茶園や出荷を目的とした花卉（ツツジ，サツキなど）に変わっている．

畦畔は石積みで築かれており，その石組の美しさが評価され，1994 年には農林水産省が実施している「第 3 回美しい日本の村景観コンテスト」で最高の農林水産大臣賞を受賞している．棚田の枚数は 130 段以上あり，段高は平均 1.7m ほどである (Fig.3-2)．



Fig.3-1 斜面に造成されている棚田

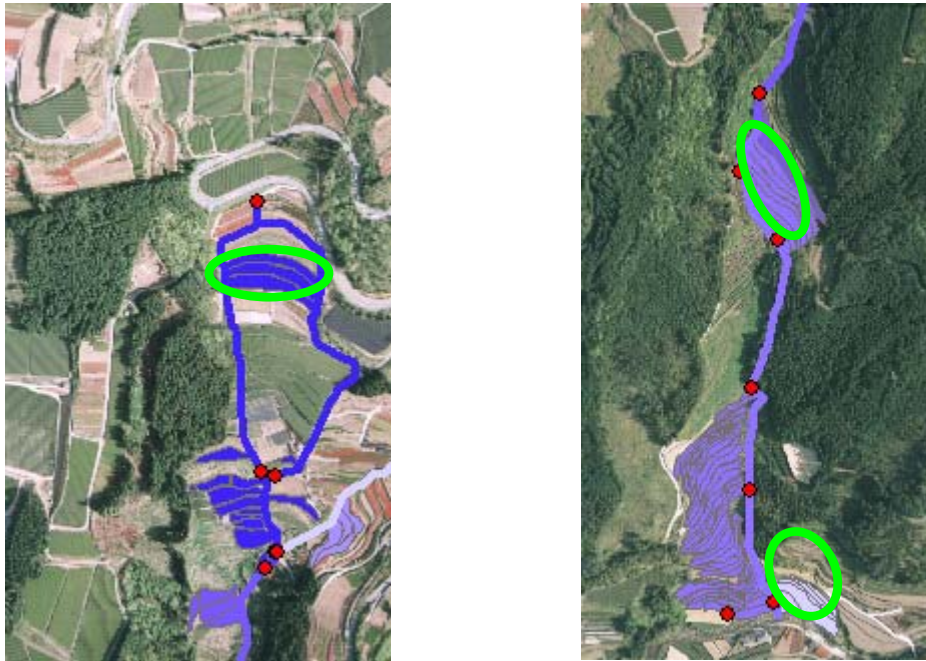


Fig.3-2 石積で築かれた畦畔

3.2 実験サイト

本研究では， Fig.3-3 に示す星野村にある広内地区の棚田を対象として，上（標高 478m）・中（標高 370m）・下（標高 264m）流域の標高の

異なる3水田を実験区とし、気象項目並びに水質測定を行った。



(a) 上流部

(b) 中・下流部

Fig.3-3 広内地区の棚田

3.3 気象観測

気象要素は、気圧、日射、雨量、温・湿度、風速・風向の6項目をオンセット社の気象観測器 (Fig.3-4) を用いて10分のサンプリング間隔で測定した。各センサー名及び精度をTable 3-1に示す。

なお、気象観測機器は上・中・下流部の3実験区にそれぞれ設置した。



Fig.3-4 気象観測機器

3.4 水質測定

水質は棚田が位置する水系の水質（全窒素量）を測定した。7月から10月まで2週間おきに、

Fig.3-3 に示す、同一水系内の上流から下流の13地点で採水（代表的な採水点を Fig.3-5 に示す）を行い、Fig.3-6 に示す多検体

TNP セット（セントラル科学，HC-1000 型）にて測定した。なお、計測精度は $\pm 0.05\text{mg/L}$ である。

Table. 3-1 気象観測機器の特性

センサー名		精度
大気圧	気圧スマートセンサー(S-BPA-CM10)	$\pm 1.5\text{mbar}@25^\circ\text{C}$
日射量	日射スマートセンサー(S-LIB-M003)	$\pm 10\text{W}/\text{m}^2$ または $\pm 5\%$
雨量	雨量スマートセンサー(S-RGB-M00x)	$\pm 1.0\%$ (20mm/hr以下)
温度	温度/湿度センサー(S-THA-M0xx)	$\pm 0.7^\circ\text{C}@25^\circ\text{C}$
湿度	温度/湿度センサー(S-THA-M0xx)	$\pm 3\%$ (結露環境 $\pm 4\%$)
風速	風向風速センサー(S-WCA-M003)	$\pm 0.5\text{m/s}$
風向	風向風速センサー(S-WCA-M003)	$\pm 5^\circ\text{C}$



(a) 最上流部 ①



(b) 上流部 ②



(c) 上流部左岸終点 ③



(d) 上流部右岸終点 ④



(e) 合流部 ⑤



(f) 中流部 ⑥



(g) 下流部入口 ⑦



(h) 下流部出口 ⑧

Fig.3-5 採水点



Fig.3-6 TNP 多検体セット

3.5 結果及び考察

(1) 気象観測

今年の星野村の気温は例年より低く、収穫量は例年より少なかった。福岡県の収穫指数は76と報告されており、特に南筑後（八女市、大牟田市、柳川市など）では56と報告されている。この原因として、田植え期の気温の低下、梅雨明けまでの日照不足により分けつが抑制されたこと、8月中旬に台風10号が、9月の下旬には台風13号が上陸したことが挙げられる。台風10号は Fig.3-7 より、出穂期直前に多量の雨が降ったことで日照不足になり、その結果出穂期の気温が下がっていることがわかる。また、風速も大きく稲に大きな影響を与えたことが考えられる。一方、台風13号では、雨量は多くはなかったが、風速は大きく稲の倒伏被害が至るところで起こっていた。

稲は気温環境に最も影響を受けると言われる。分けつ期の適温は25～31℃、幼穂形成期は限界最低温度15℃を下回らないこと、登熟期は20～25℃であると報告されている。Fig.3-8,9,10に6月から10月までの平均気温の推移を示す。上・中流部の水田では、生育期間の温度環境は、分けつ期は平均気温が23.1℃(6/16日～7/16日)、24.1℃(6/17日～7/17日)、幼穂形成期は25.1℃(7/17日～8/15日)、25.7℃(7/18日～8/27日)、であった。また品質や収量に最も影響を及ぼす登熟期は22.1℃(8/16日～9/26日)、21.2℃(8/28日～10/9日)であった。両実験区ともに分けつ期のみ適温を下回ったものの、他の期間は適温内の良好な環境であった。下流部は、幼穂形成期は26.6℃(7/20日～8/19日)、登熟期24.0℃(8/20日～9/24日)と全ての生育期で適温範囲内であった。なお、幼穂形成期は限界最低温度で設定されており、今回は限界最低温度15℃をいずれの実験区も上回ったため、良好な

温度環境であると判断した。

また、次に、棚田米の美味しい理由として挙げられる日較差について検証を行うために、星野村から西に20km程離れた平野部に位置する羽犬塚との平均日較差の比較を行った。その結果を Fig.3-12 に示す。7/3日から10/9日までの日較差の平均は、上流部で7.3℃、中流部で7.3℃、下流部が8.7℃、平野部は8.0℃であり、下流部は平野部に比べて日較差が大きく、上・中流部は小さいことが確認された。また、出穂後の8/16日以降も同様の傾向を示し、その差は出穂前より顕著であった。これは、7/3日から10/9日までの、上・中・下流部の平均最低気温は19.9、20.8、21.0℃と平野部の22.4℃を大きく下回る一方、下流部の平均最高気温は29.7℃と平野部の30.4℃並みだったためである。なお、上・中流部の平均最高気温は27.2、28.0℃であった。

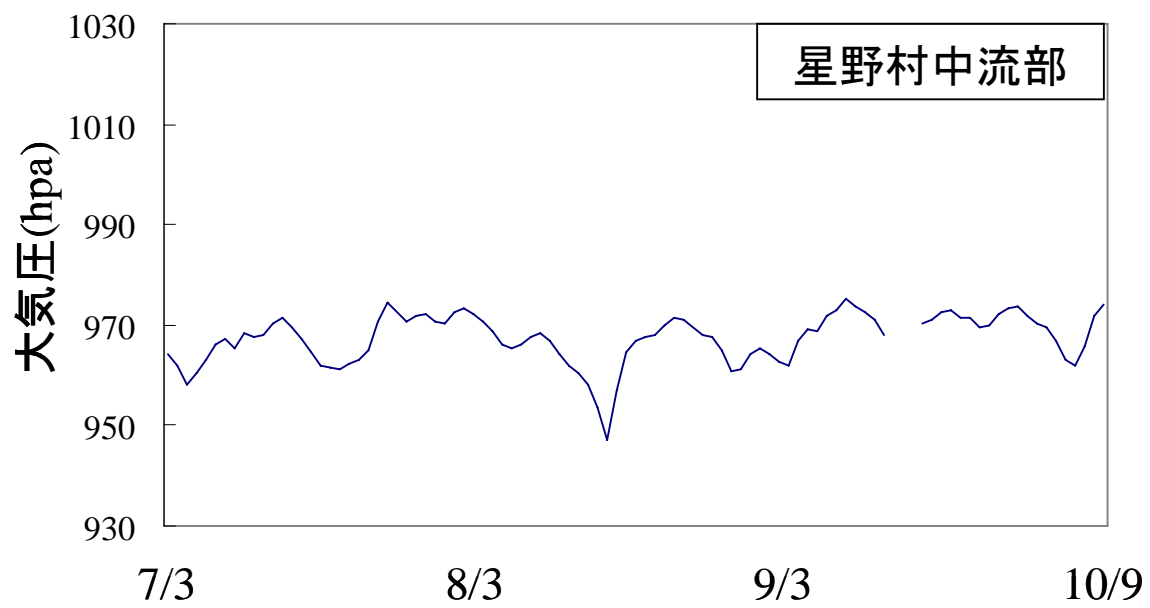
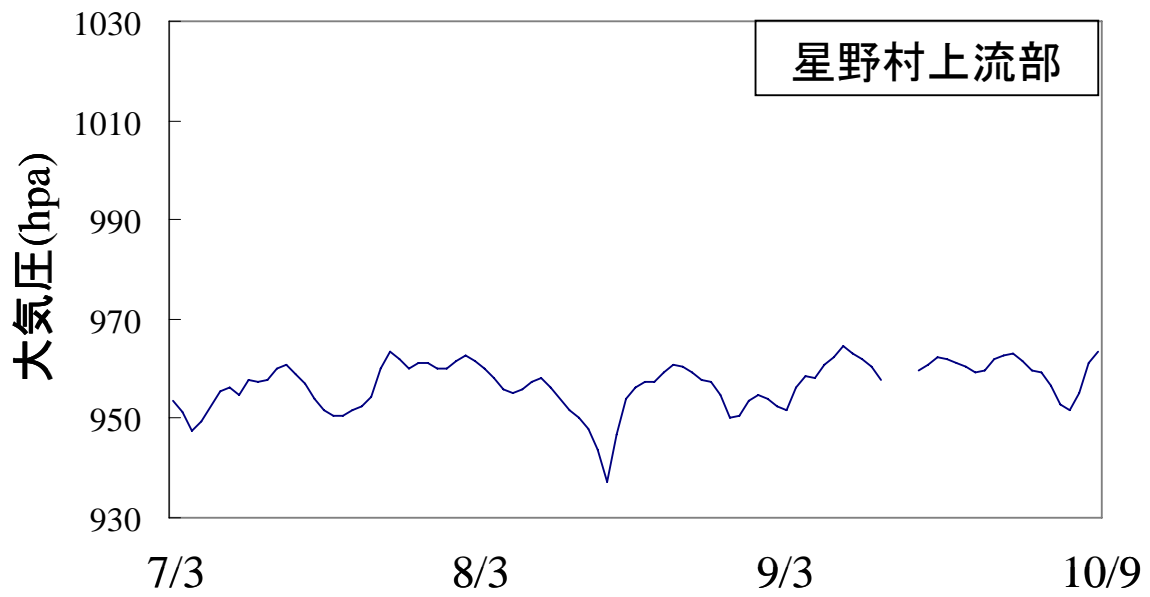
以上の結果から、下流部の日較差は大きく、米の生育に良い環境であることを示しており、このことは過去の報告と一致する。楊重法らは山間地の生産環境が有利な点は夜間の気温が低下するところにあると述べている。これらのことから、日較差が大きだけでなく、夜間の気温が低下することも米の生育環境を判断する指標として重要であることが推察される。

ところで、今回は各実験区では異なる品種が栽培されていた。出穂に関しては、Table 3-2より早晚性を考慮すると下、中、上流部の順で出穂することが予想される。しかし、結果は中流部の出穂が大きく遅れた。これは、中流部の地形的な要因が大きく影響していると考えられる。Fig.3-13に示す通り、7/3日～10/9日の平均積算日射量を比較すると、上流部が13.5MJ/m²、中流部が11.5MJ/m²、下流部が13.2

MJ/ m²と明確な差があった。中流部の気象環境は他の実験区に比べて、日射環境の面で不利であることが示された。

Table 3-2 稲の品種及び早晚性と栽培情報

実験区	品種名	早晚性	移植日	出穂日	収穫日
上流部	ヒノヒカリ	中生	6月6日	8月16日	9月26日
中流部	つくしろまん	早生	6月7日	8月27日	10月10日
下流部	ミネアサヒ	極早生	6月9日	8月20日	9月24日



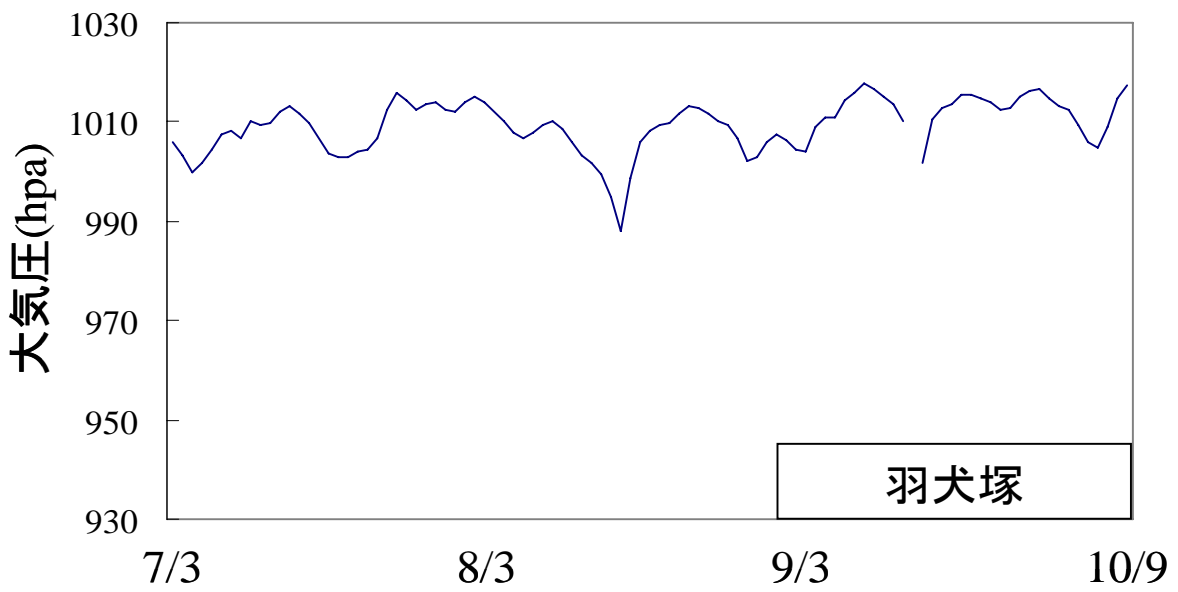
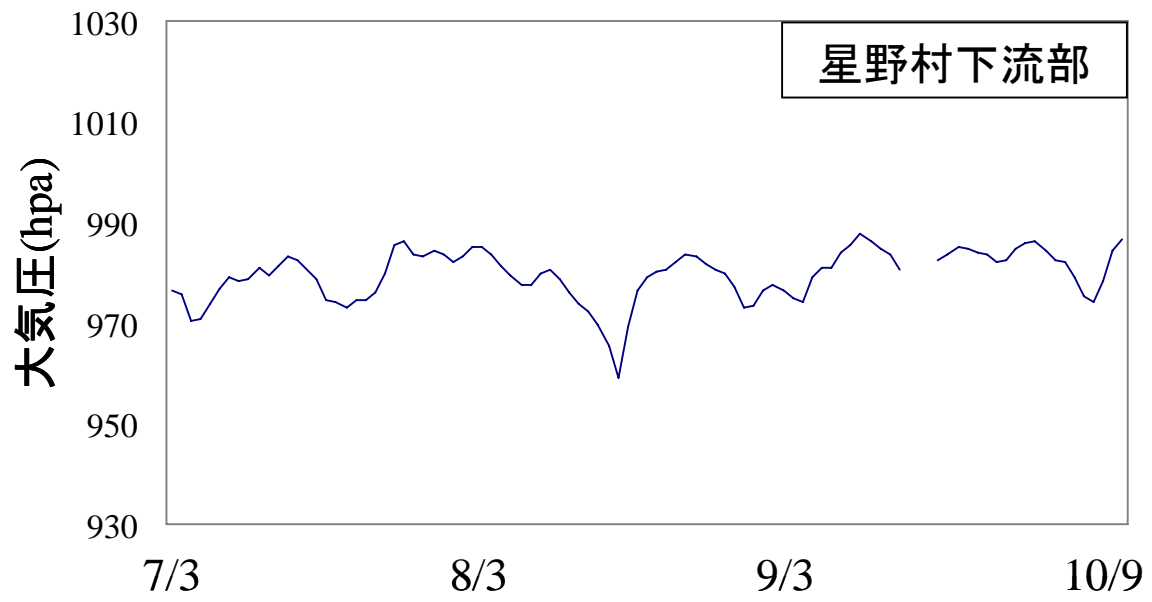
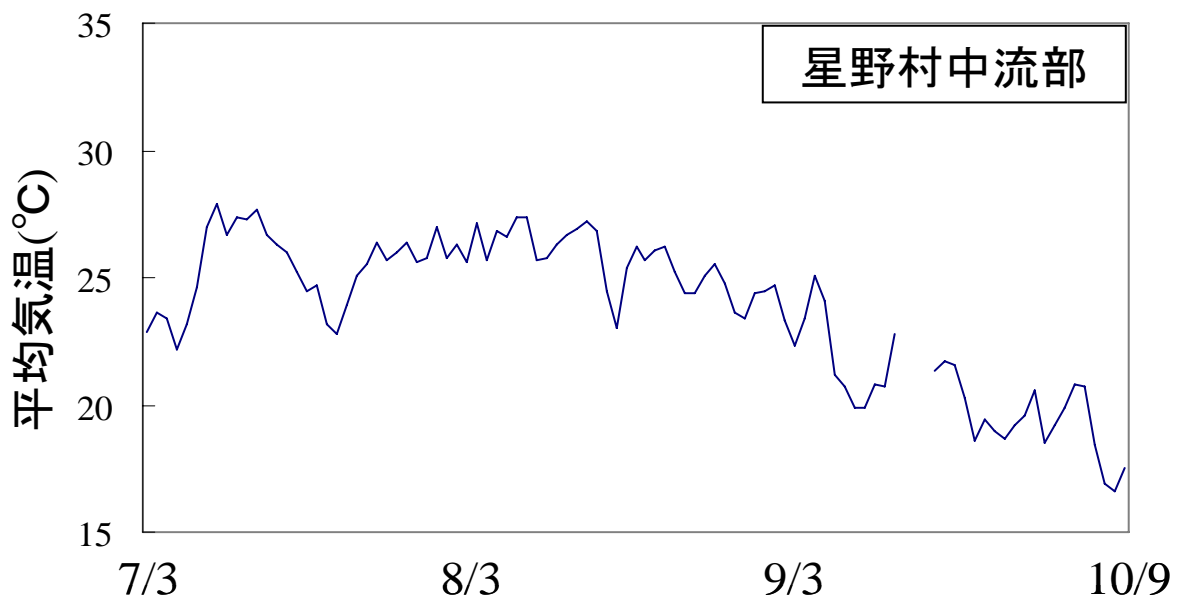
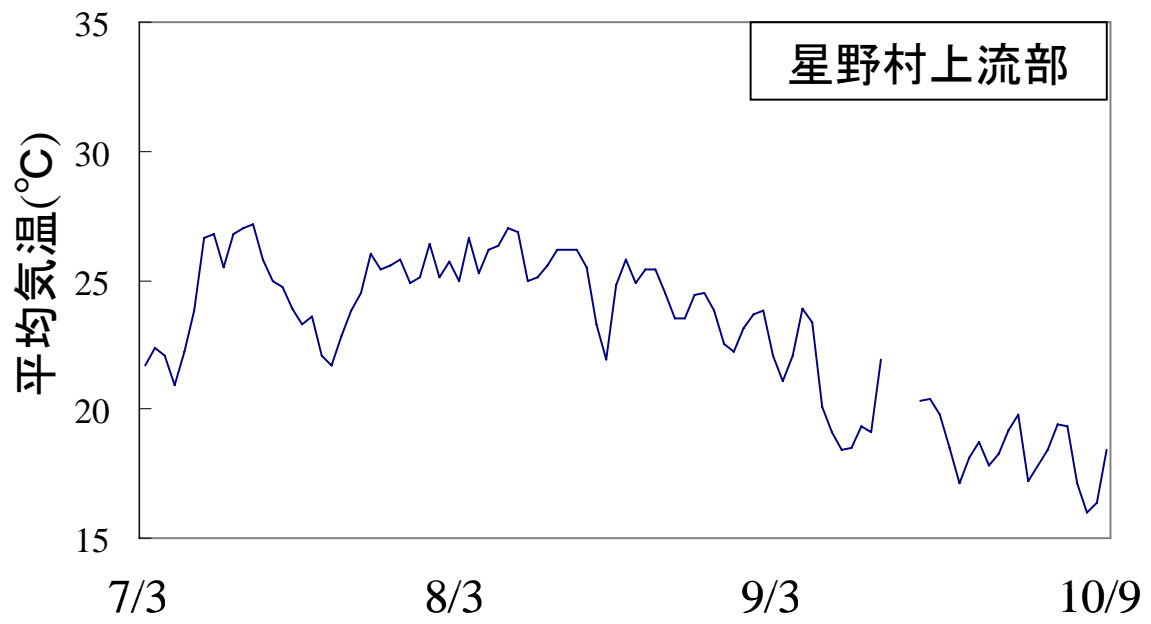


Fig.3-7(a) 各実験区における大気圧



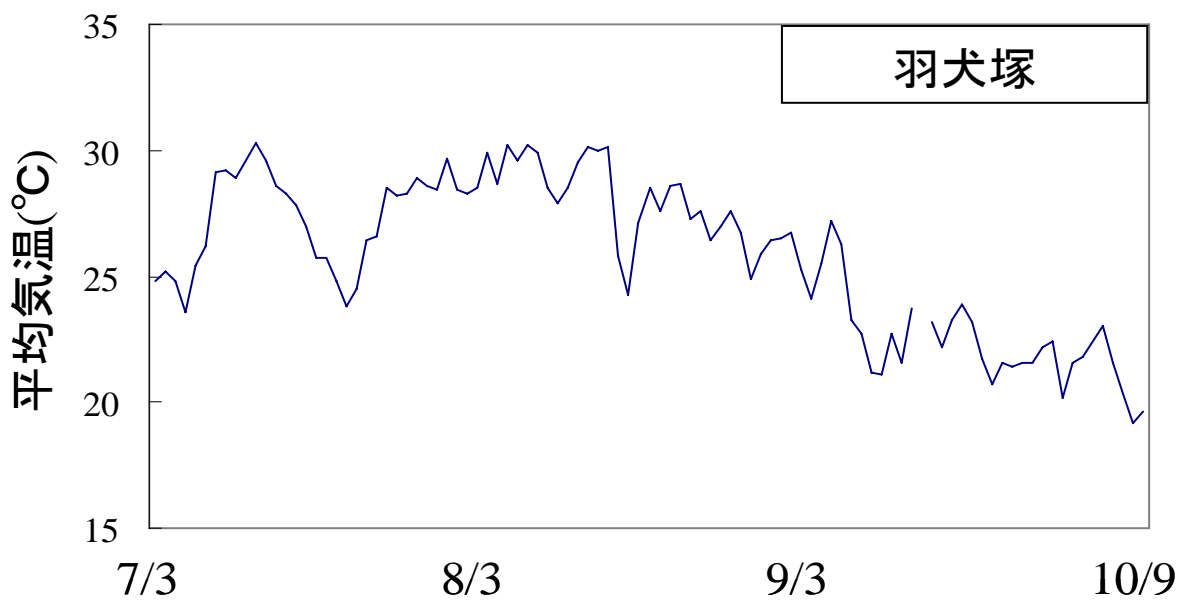
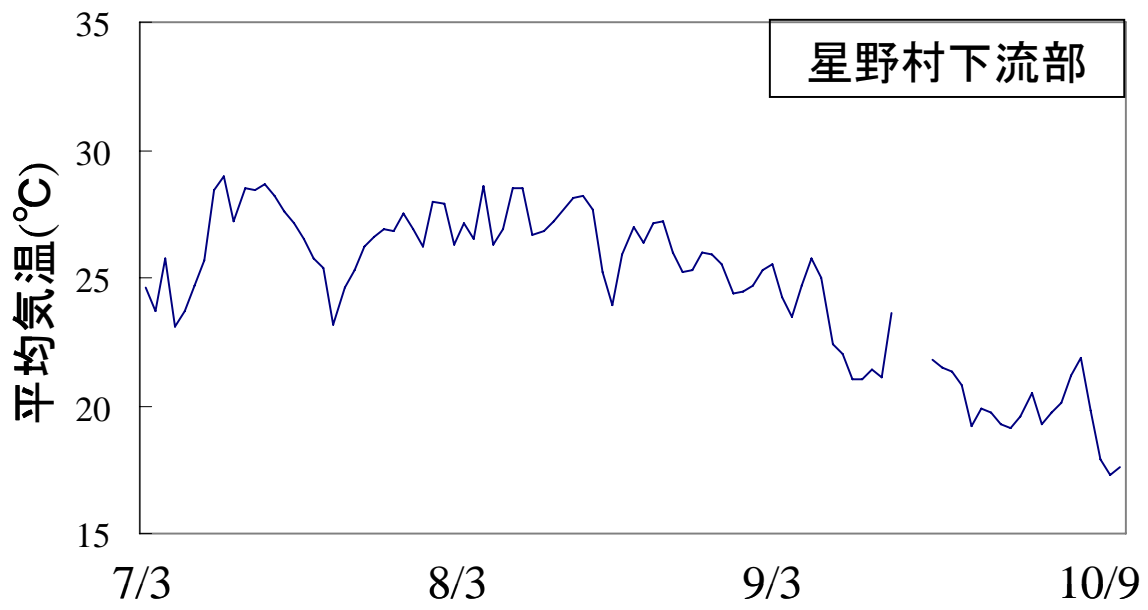
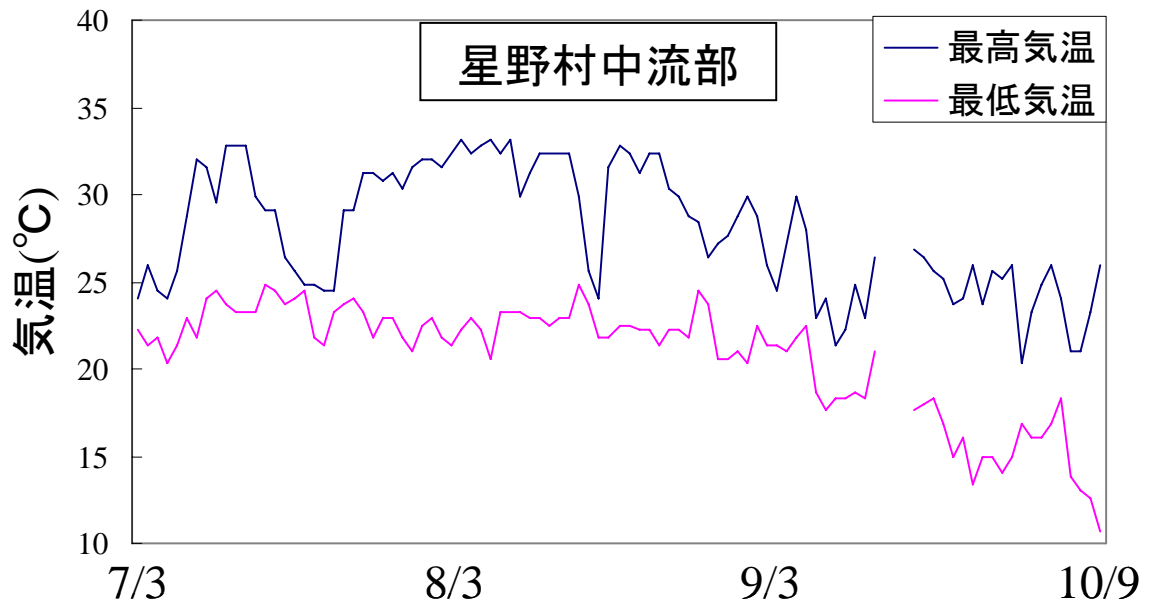
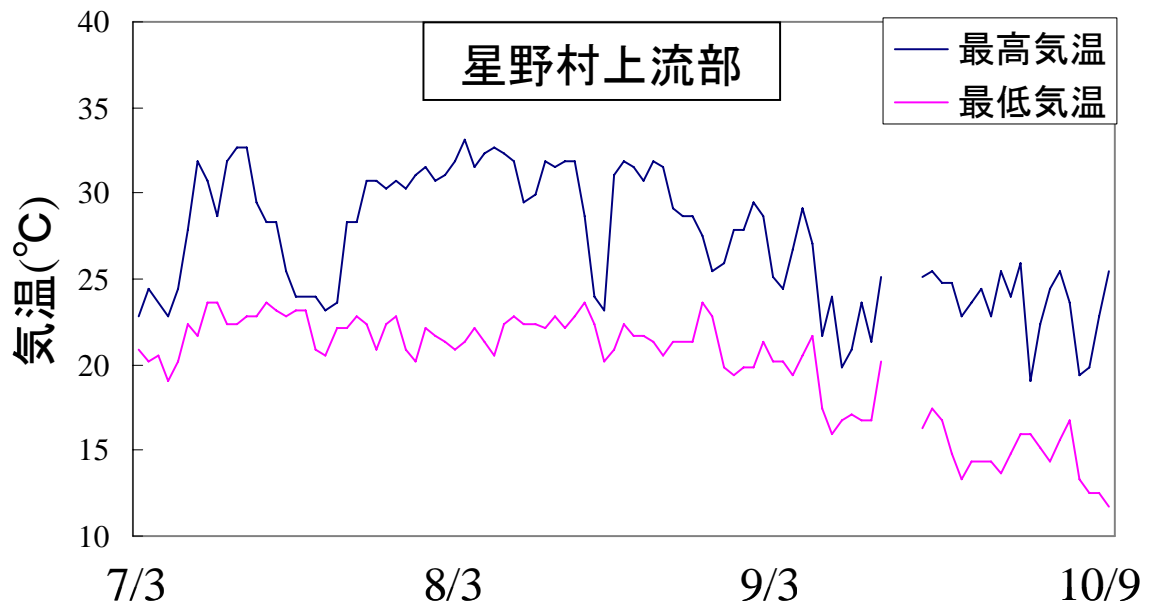


Fig.3-7(b) 各実験区における平均気温



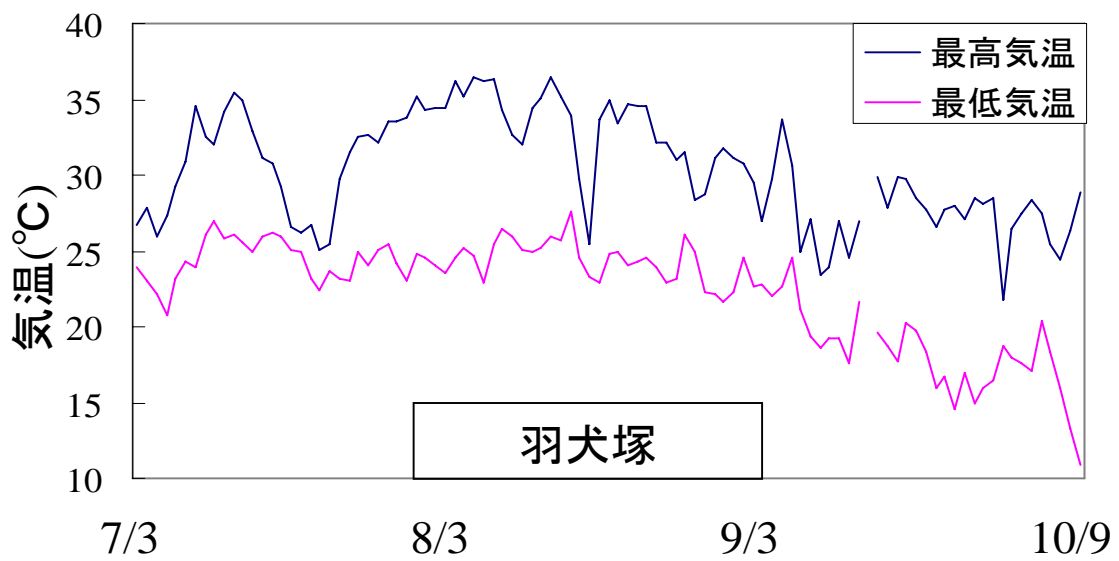
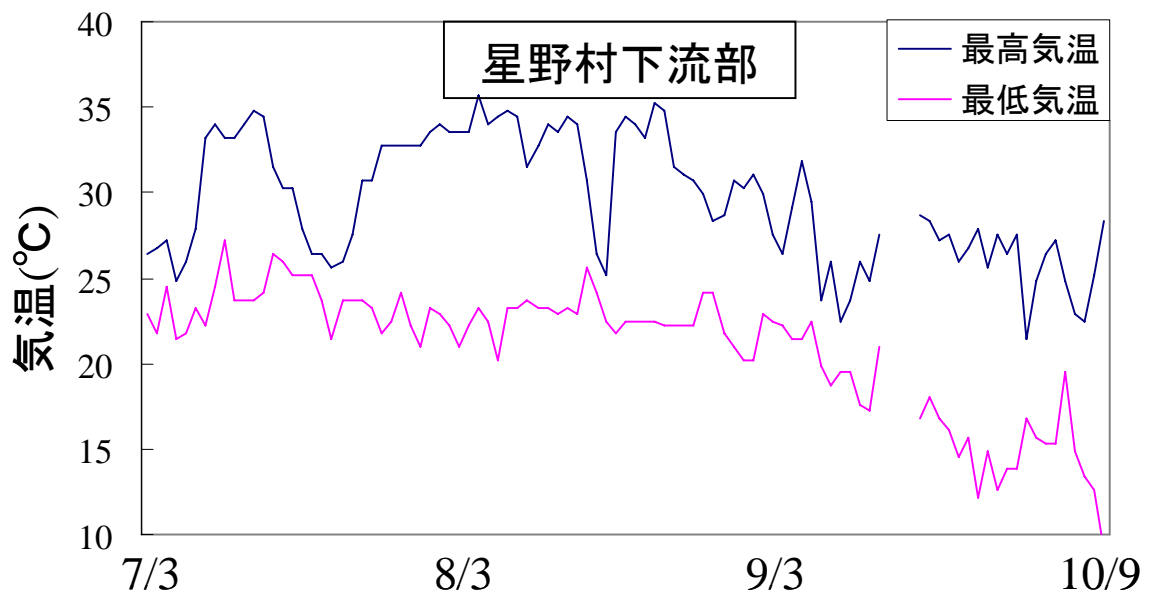
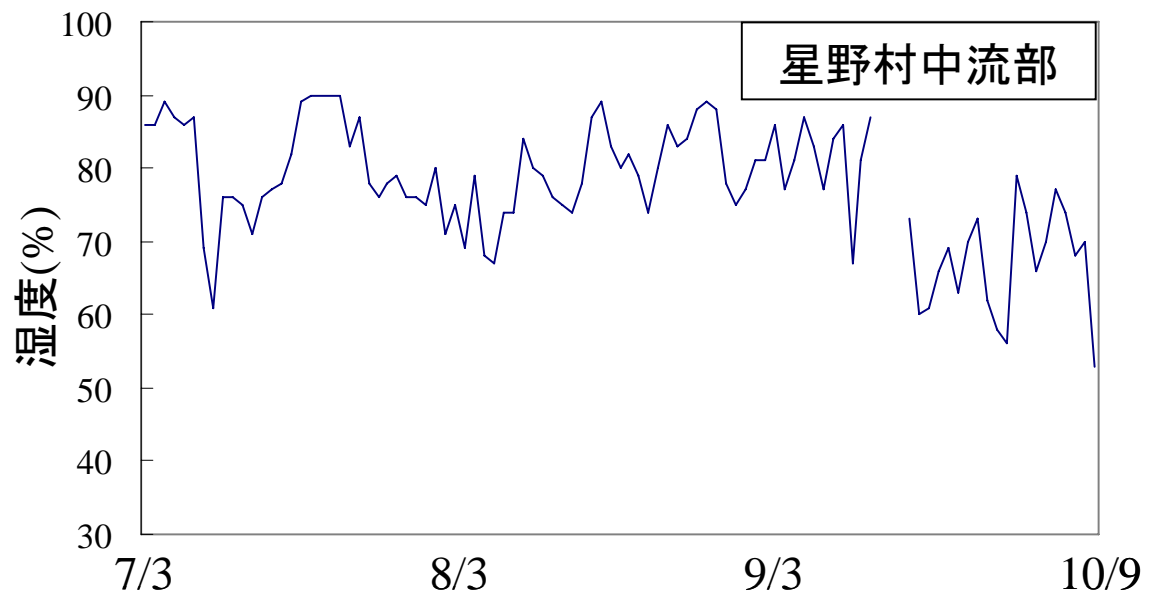
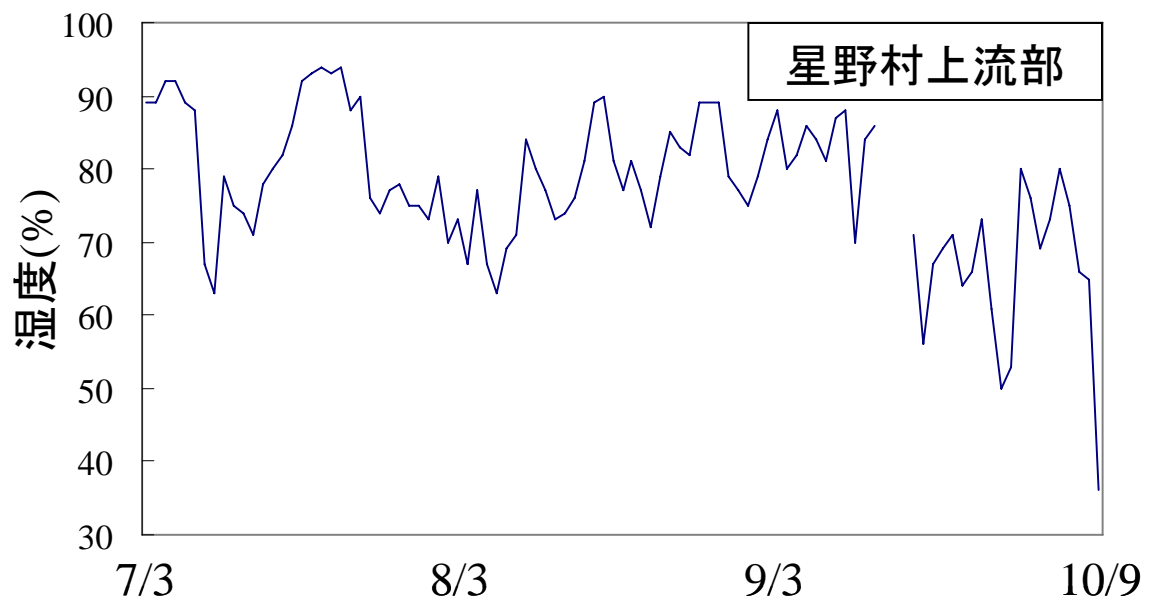


Fig.3-7(c) 各実験区における最高気温と最低気温



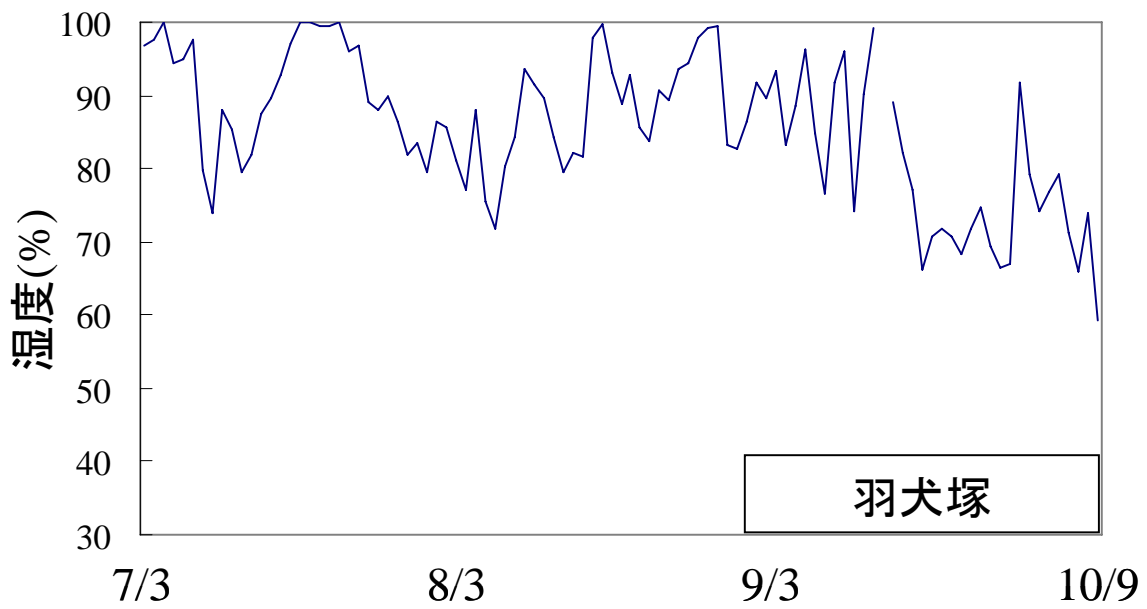
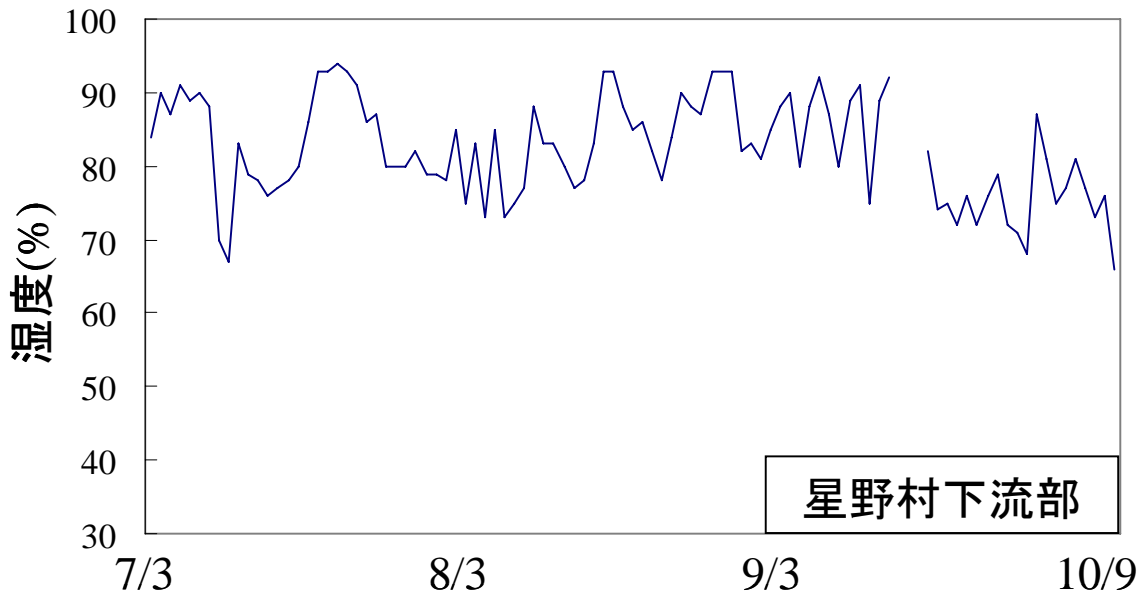
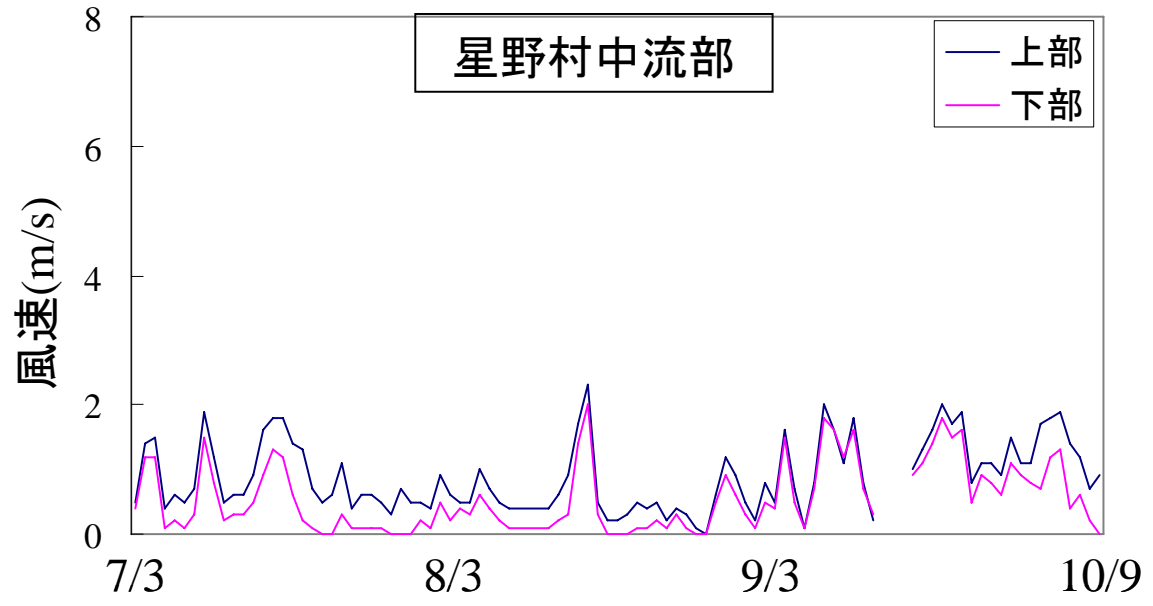
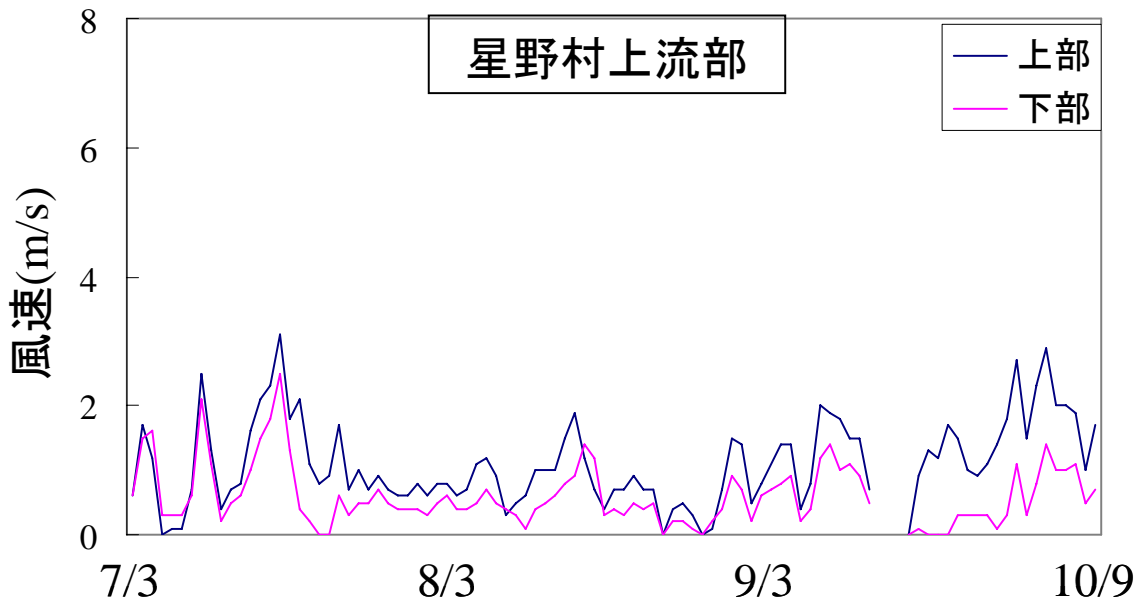


Fig.3-7(d) 各実験区における湿度



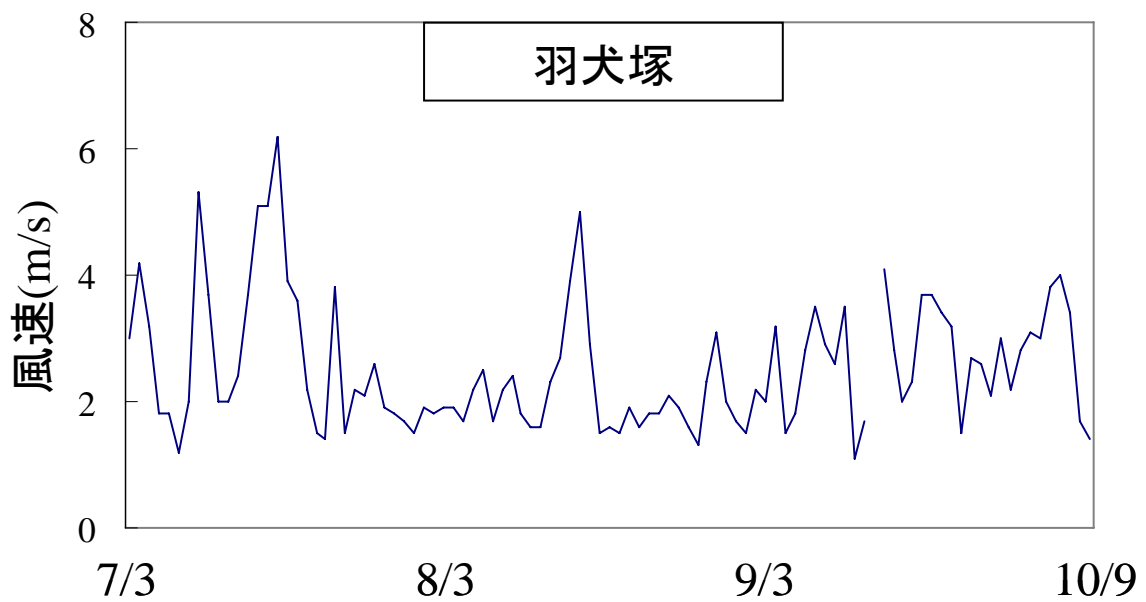
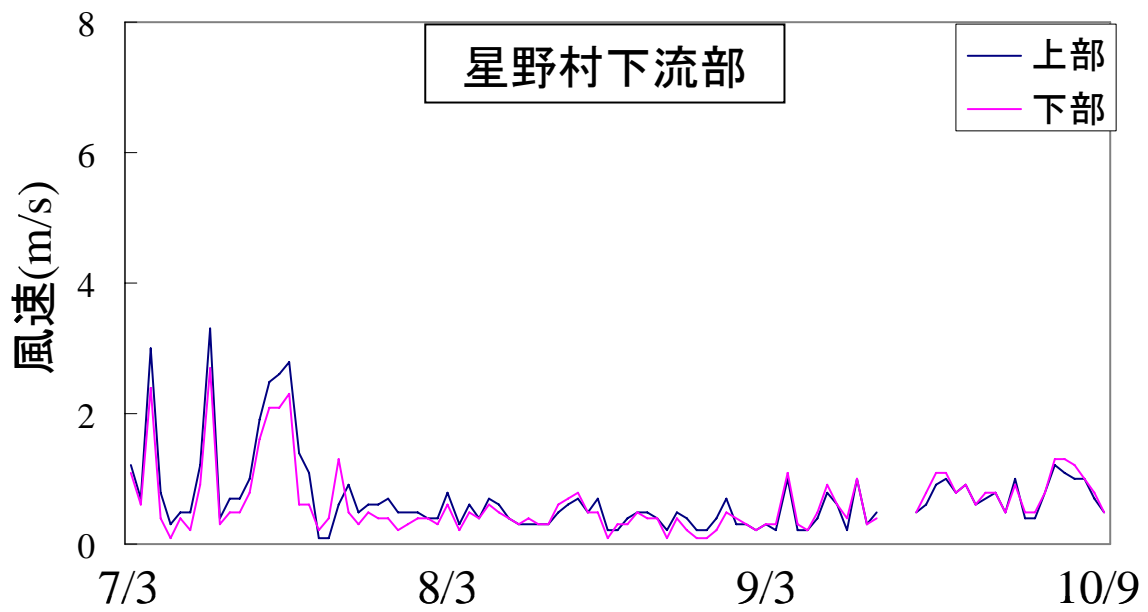
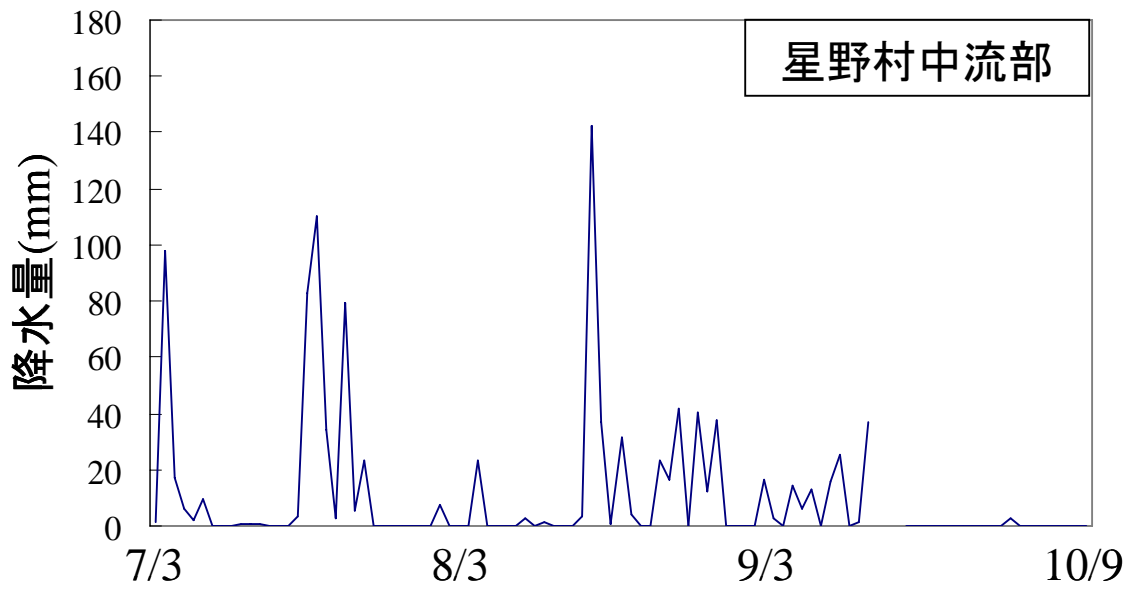
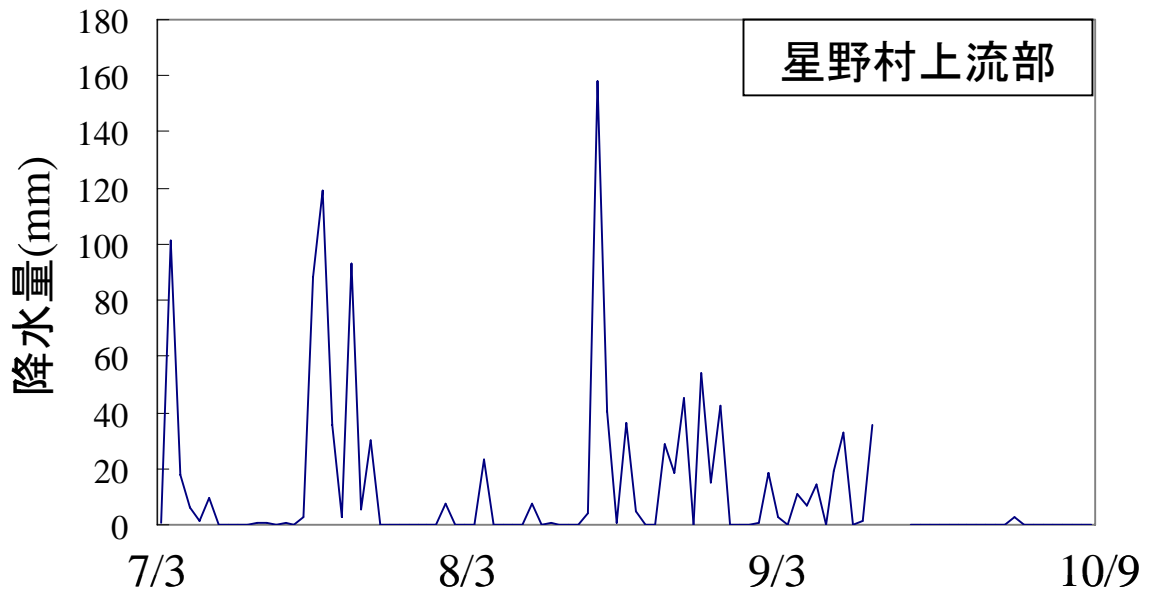


Fig.3-7(e) 各実験区における風速



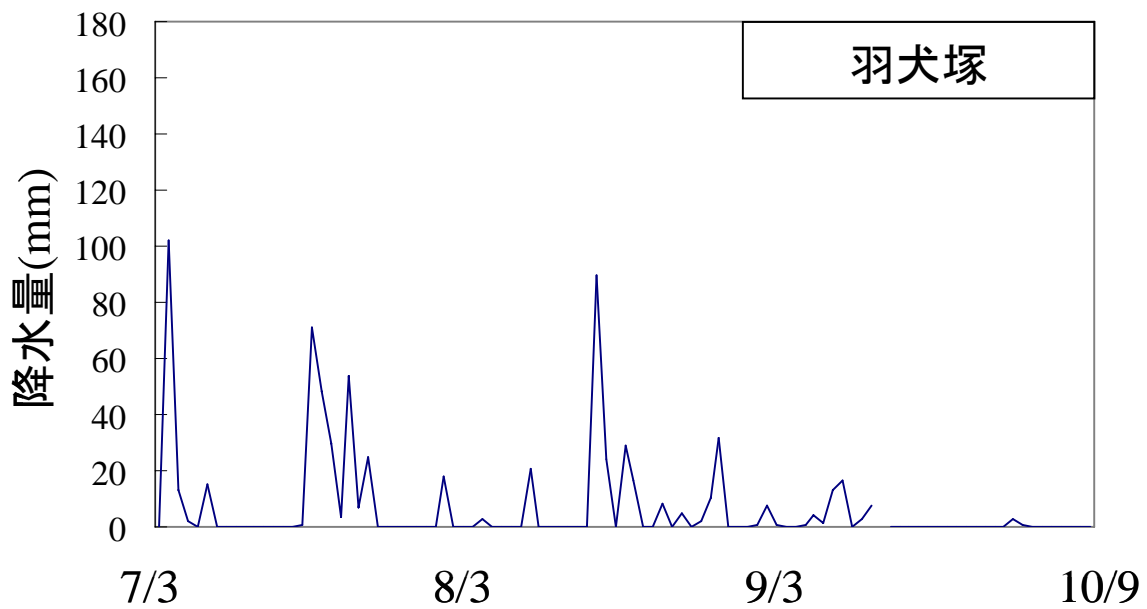
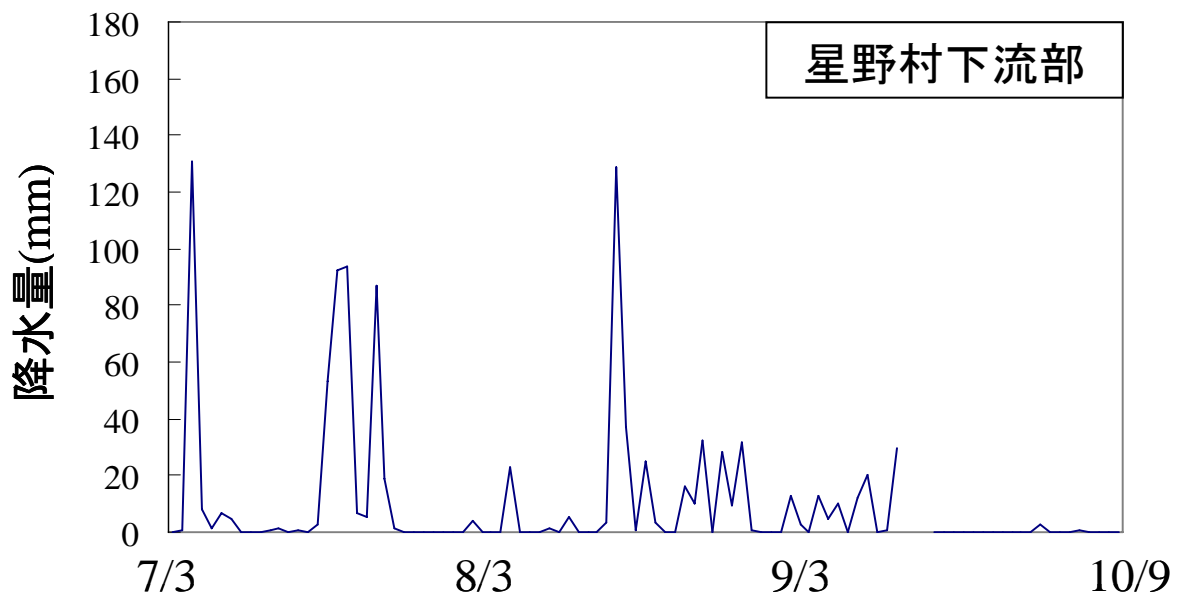
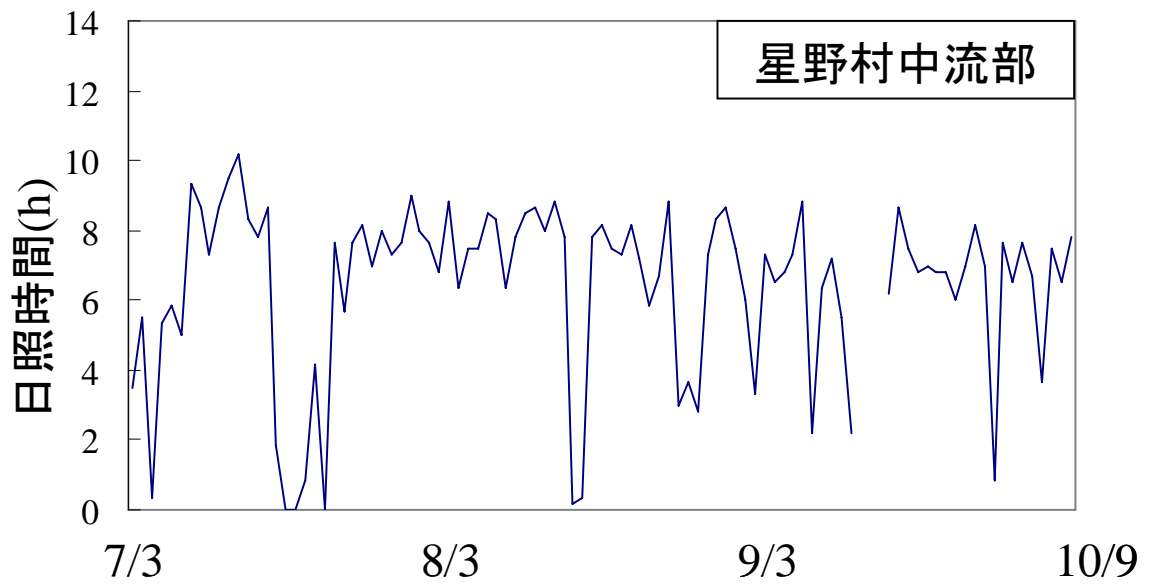
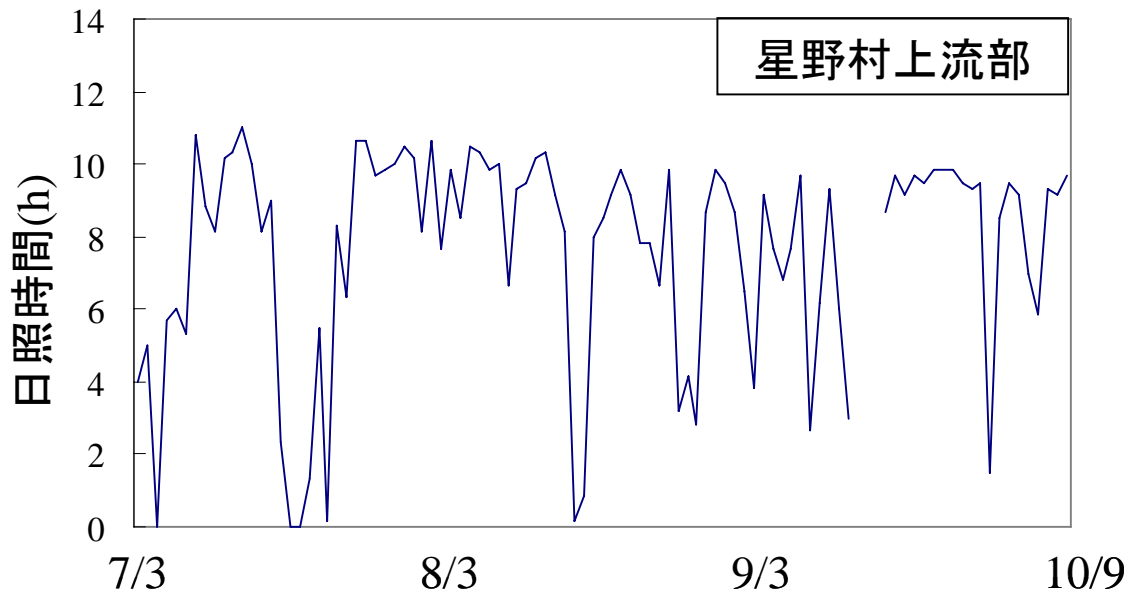


Fig.3-7(f) 各実験区における降水量



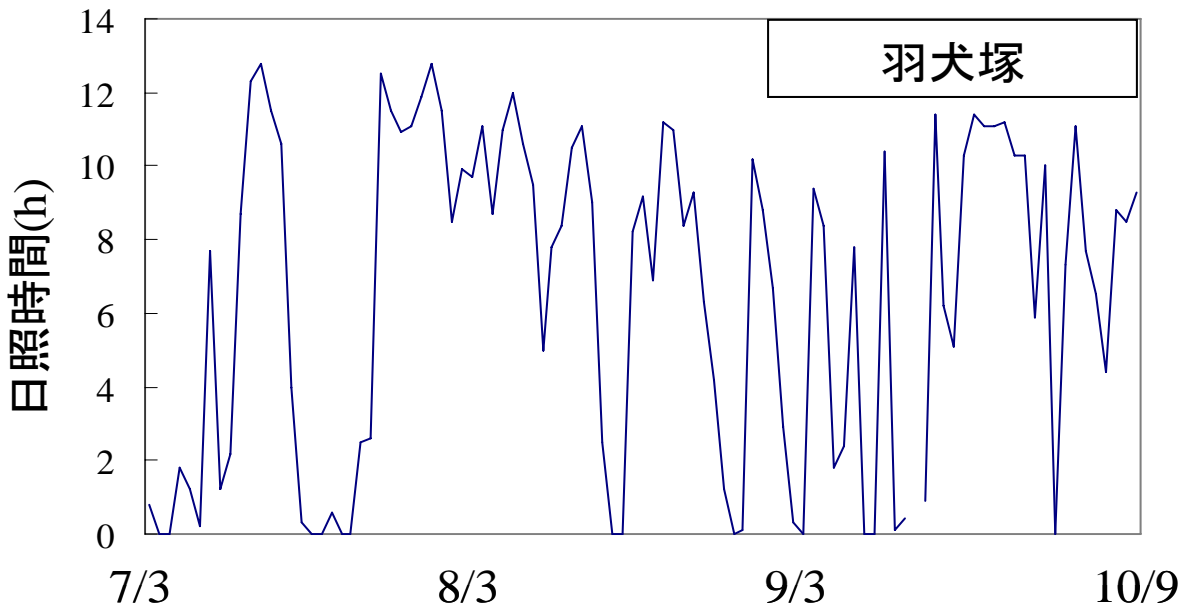
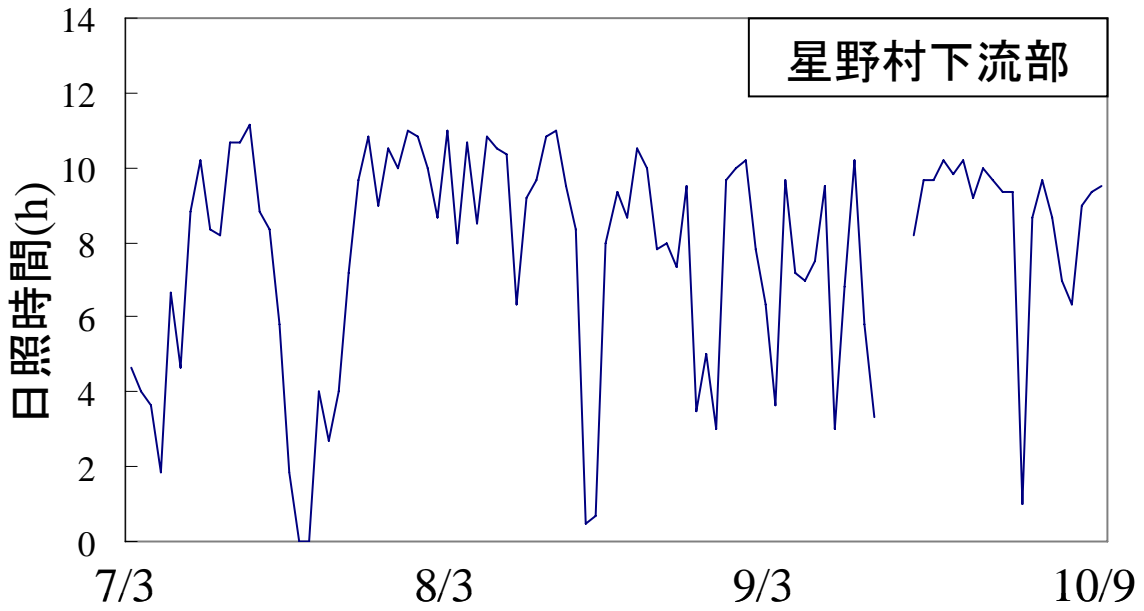
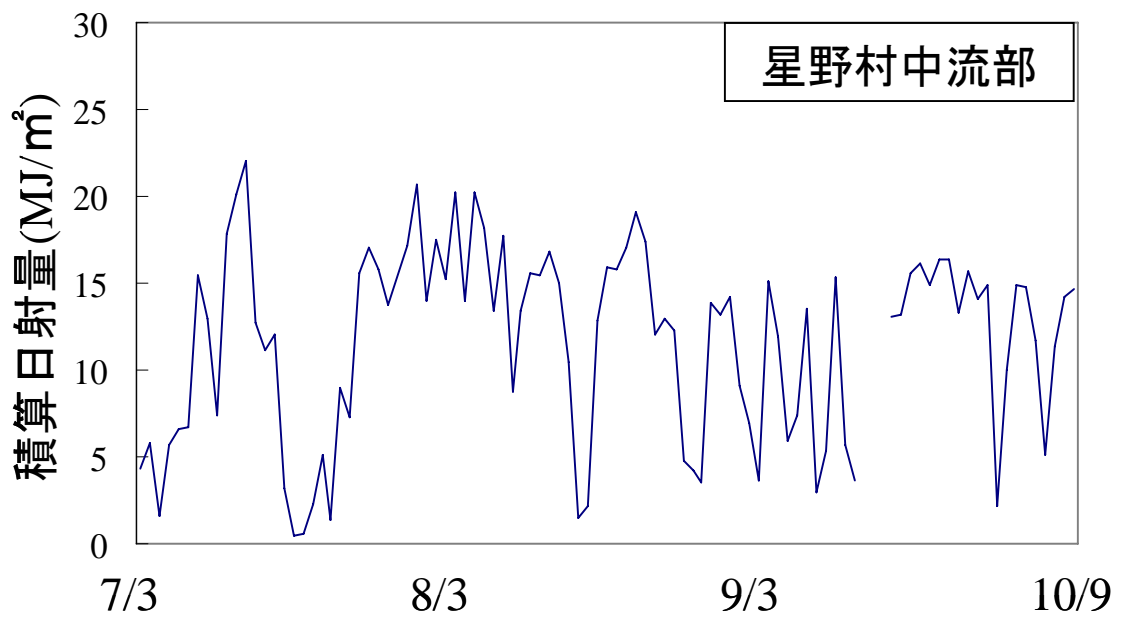
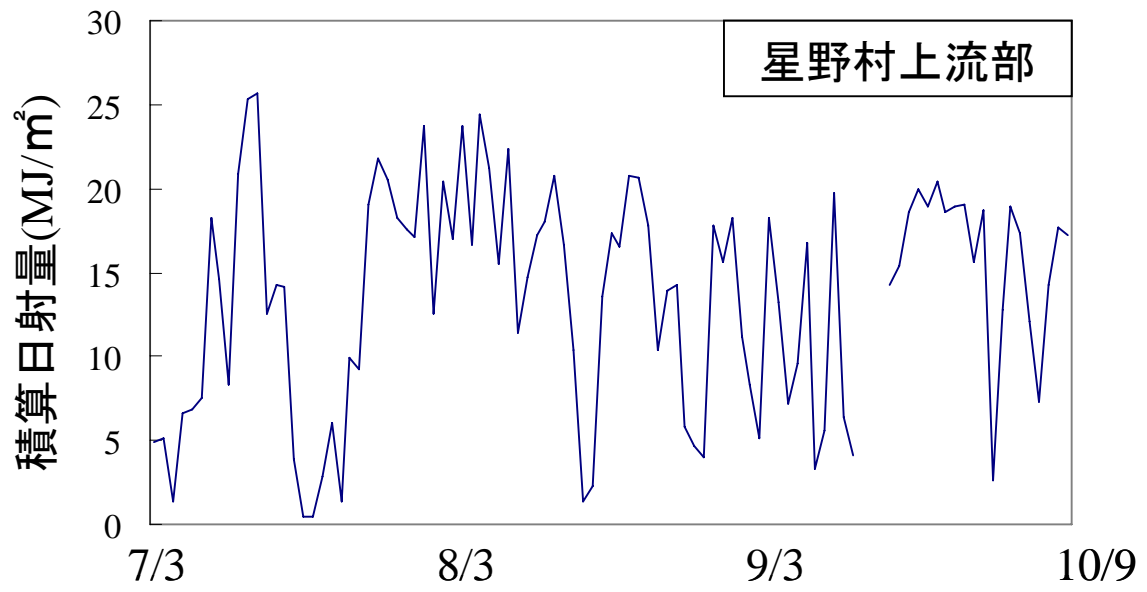


Fig.3-7(g) 各実験区における日照時間



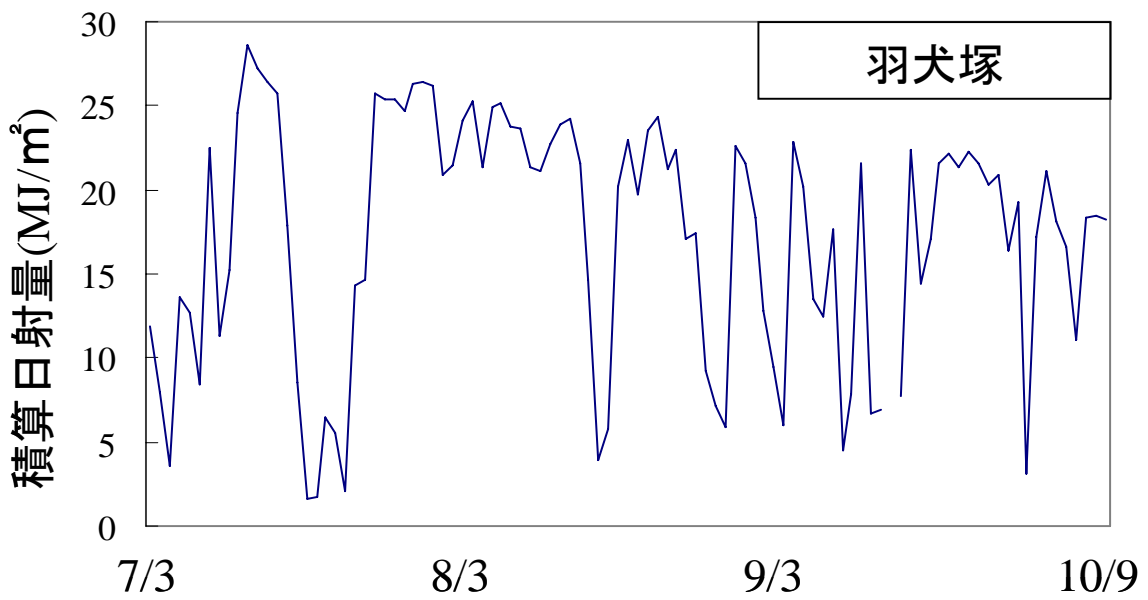
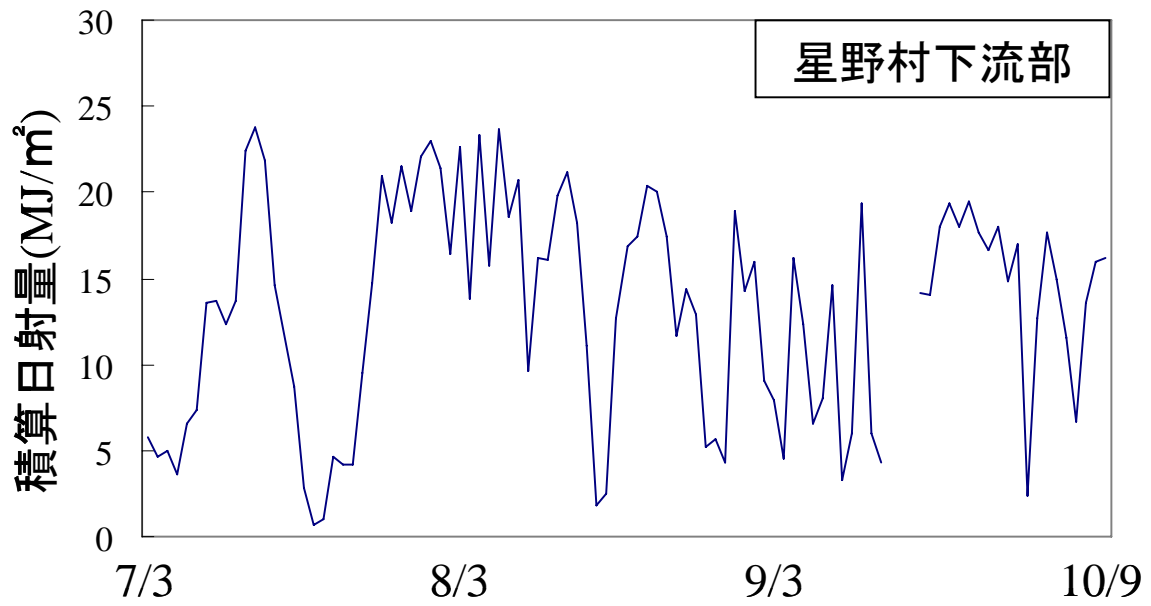


Fig.3-7(h) 各実験区における積算日射量

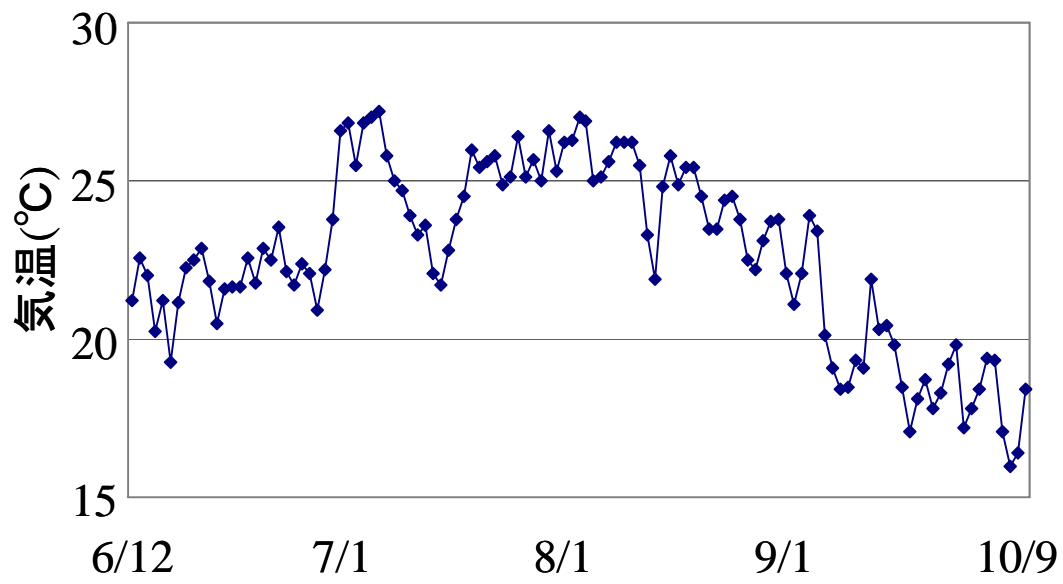


Fig.3-8 上流部水田における 6 月から 10 月までの平均気温

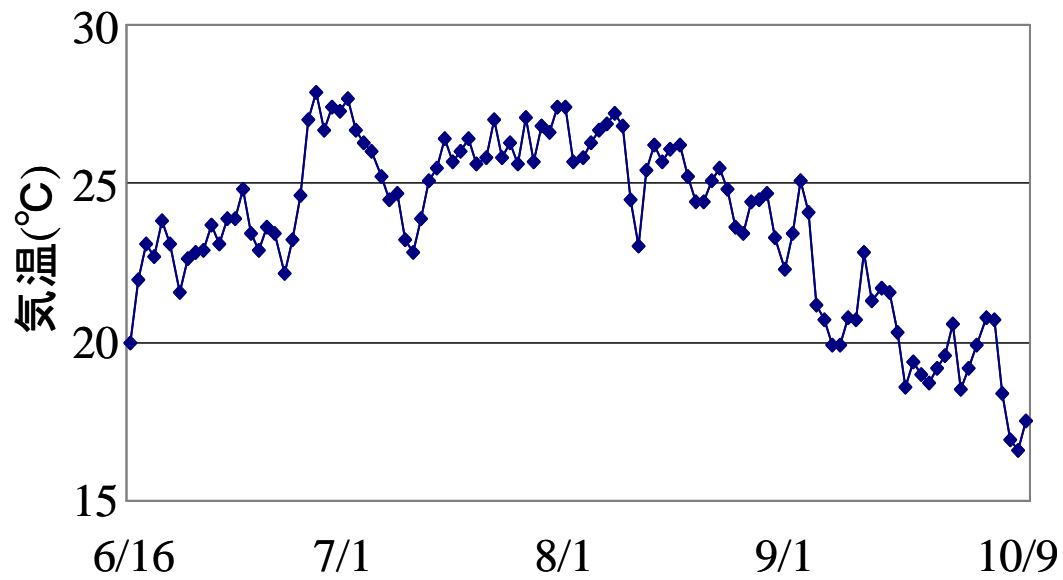


Fig.3-9 中流部水田における 6 月から 10 月までの平均気温

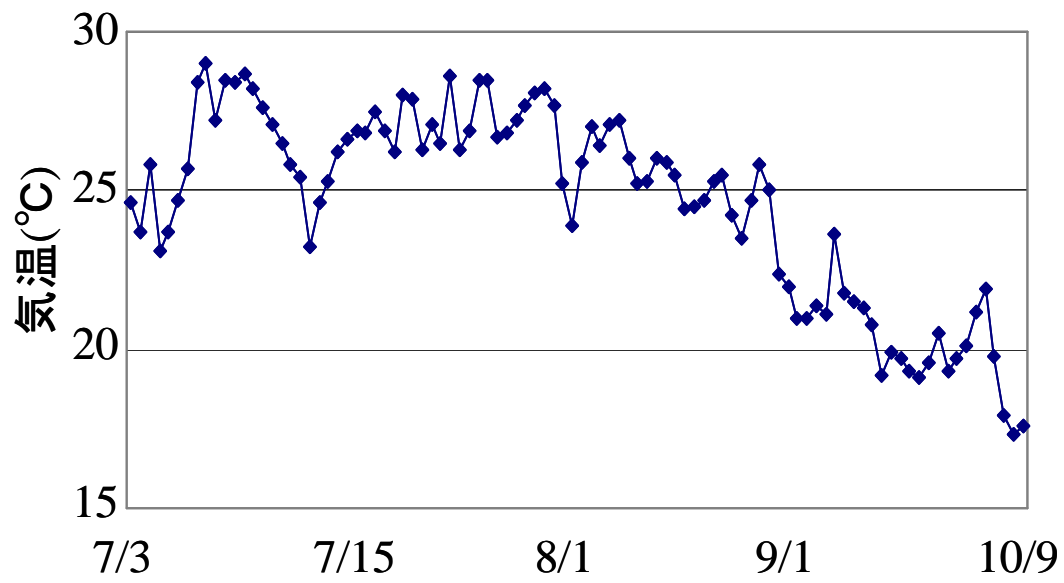


Fig.3-10 下流部水田における7月から10月までの平均気温

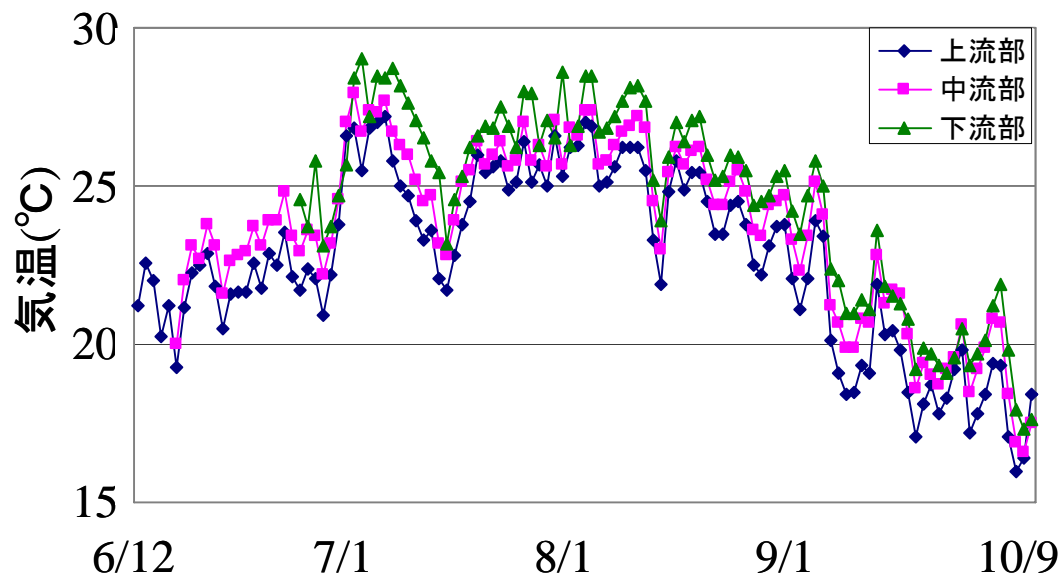


Fig.3-11 各実験区における平均気温の比較

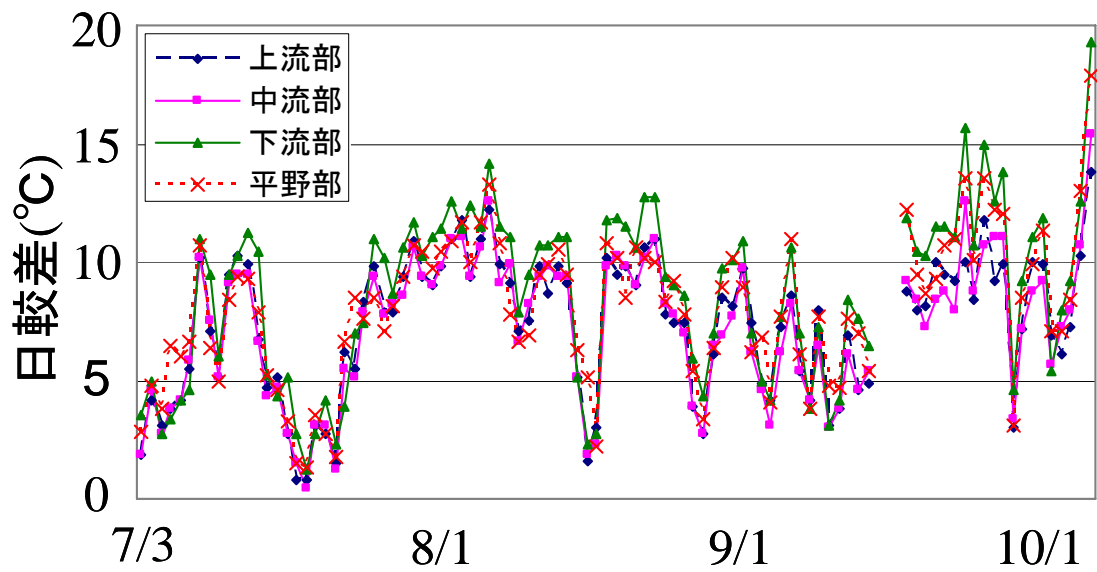


Fig.3-12 各実験区における平均日較差の比較

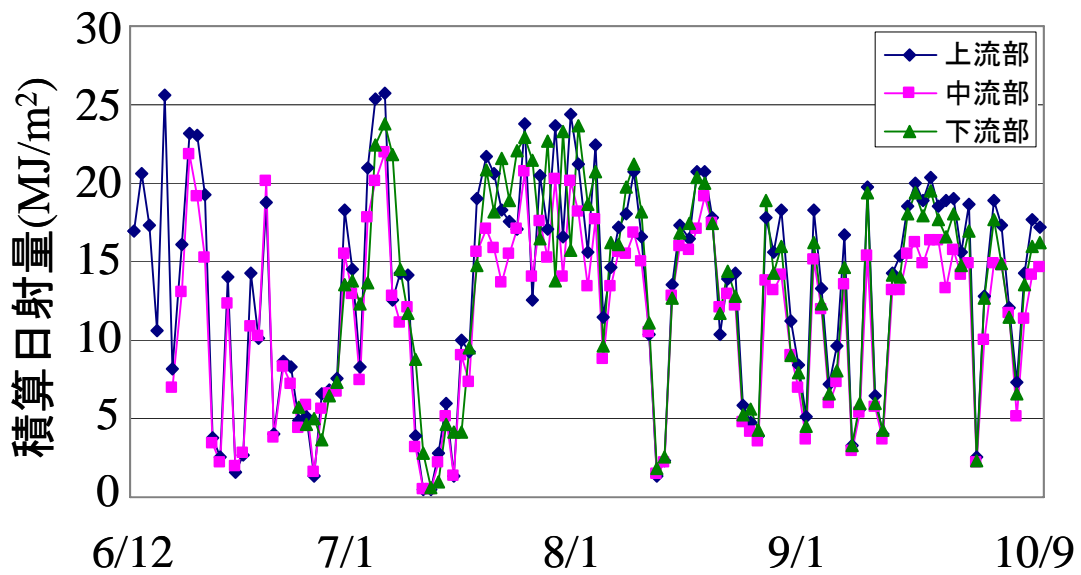


Fig.3-13 各実験区における平均積算日射量の比較

(2) 水質測定

Fig.3-14 に 7 月から 10 月までの全窒素濃度の推移を示す。なお、Fig.3-14 には 13 の採水点のうち 7 点をプロットしており、各番号は Fig.3-15 のマップ中の番号と対応している。測点①において 7 月から 10 月までの平均濃度は 4.3mg/L と非常に高い値を示した。これは上流部付近に茶園が広がっており、施肥による影響を受けていると判断される。また、下流に向って濃度は次第に減少した。Fig.3-13 の④の測点で濃度が減少しているのは、測点③で示される別の流域から流れ込んでくる窒素濃度の低い排水と混ざり、希釈されているためである。また、測点④では 8/10 日に急激に濃度が下がっていた。これは、灌漑期には上流部で大量の水を使用するために、上流部からの水量が減り、窒素濃度の低い測点③側の水質が支配的であったためと判断される。

Fig.3-15 は Fig.3-14 の計測結果に基づき、水田及び谷川の全窒素のマップを作成したものである。谷川の全窒素は各測定点の距離と全窒素の差より変化率を求めて 10m 間隔で変化させた。また、水田内の全窒素は最も近い谷川から灌漑を行ったと考え決定した。マップの作成には Arc-GIS9.1 を用いた。本マップは施肥管理の意思決定への利用が期待できる。

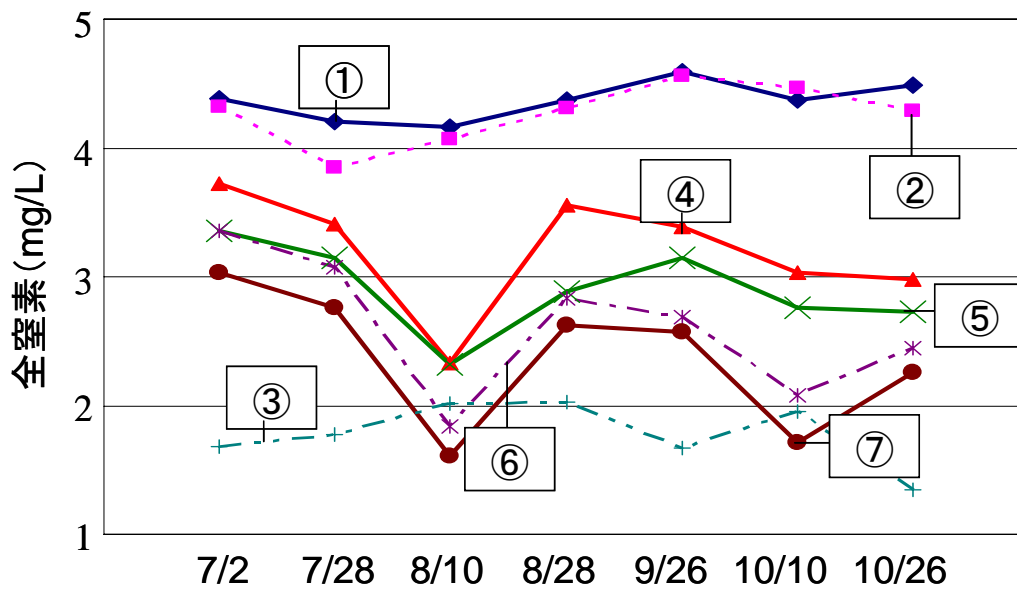


Fig.3-14 全窒素濃度の推移

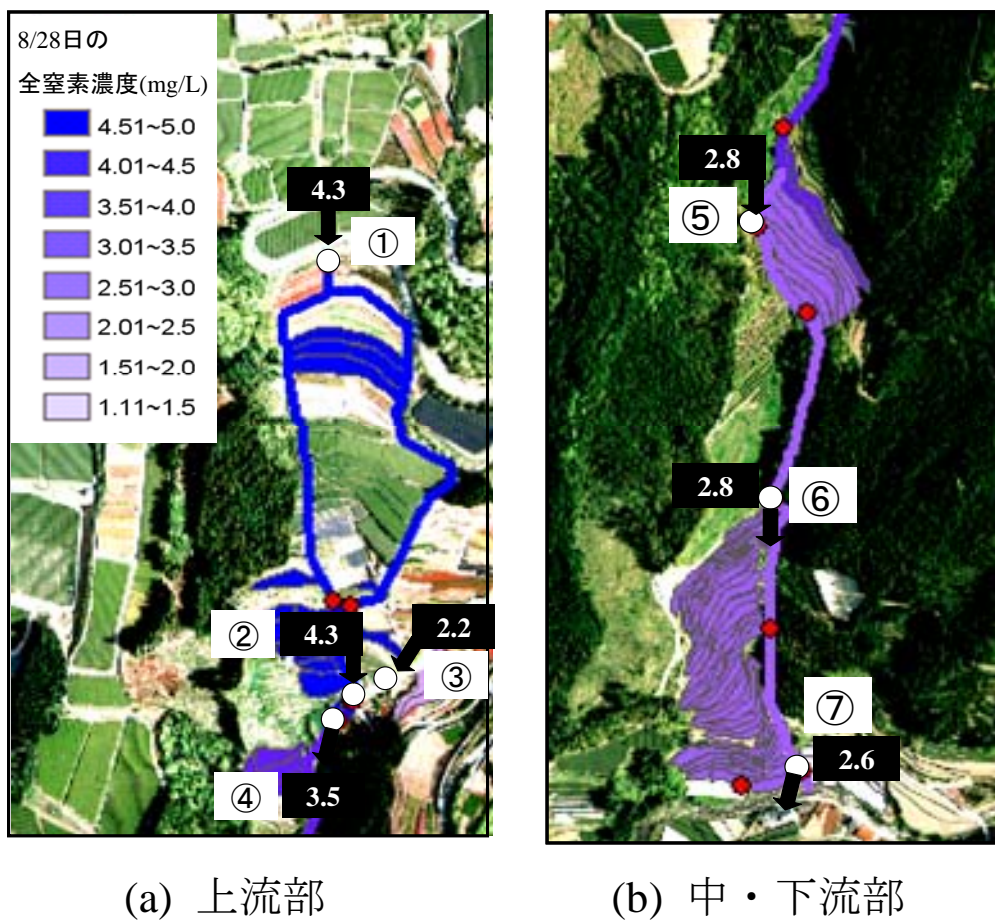


Fig. 3-15 水田及び谷川の全窒素マップ

第4章 食味分析

4.1 分析方法

食味の分析は上・中・下流部で収穫した米各5サンプルについて食味の分析を佐賀大学に依頼し行った。

分析を行う前に，四分法を用いてサンプルを抽出する．このサンプルを用いて，Fig.4-1 に示す米粒選別機（サタケ，Rice Analyzer RA-60B）と穀物判別機（Kett，RN-300）にて米の外観評価を行った後，サタケ製 InfraAlyzer 260 にて，玄米及び白米の成分分析を行った．また，炊飯食味計（サタケ，Rice Taste Analyzer STA1A）で外観，硬さ，粘り，バランス度，食味値の測定を行った．



(a) 米粒選別機



(b) 穀物判別機

Fig.4-1 食味分析計

4.2 結果及び考察

上，中，下流部の白米の各成分の差について検定するためにチューキーの方法により多重比較を行った．Table 4-1 中の数字の後ろに異なるアルファベットが付されている場合は，5%の水準で有意であることを示す．なお，水分と硬さについては1%の水準で有意であった．Table 4-1 の値は5サンプルの平均値である．Table 4-1 よりアミロースに

については，下流部とその他の実験区で有意差が認められた．また，たんぱく質もアミロースと同様の結果が得られた．アミロースは登熟期の気温との関係性が深いとされ，高温であればアミロース量は減少する⁶⁾．そこで，出穂後20日間の気象環境の比較を行うと，下流部が最も平均気温が高く25.5℃，次に上流部が24.1℃で，最も低いのが中流部の23.0℃であり，過去の報告と一致した．また，たんぱく質含有量については，灌漑水の全窒素濃度が高い上流・中流と濃度が最も低い下流で差が認められ，濃度が高いとたんぱく質含有量が増加する傾向が得られた．これは過去の報告と一致する．

今回，乾燥方法は各実験区異なった方法を採用しており，その結果が水分含有量に反映された．上・中流部は掛け干しで乾燥させるのに対し，下流部は機械にて乾燥を行った．機械で行うと水分は15.5%に設定されるが，下流部はそれが反映される形となった．水分は現在15%以上が良い基準とされているため，上・中流の米は手間が掛かっている割に品質を落としていることになり，掛け干し方法について検討を行う必要がある．

最後に食味値の結果については，一般的に70以上が良食味米と言われる．星野村で生産された米は3実験区ともに80以上であった．これは新潟県産コシヒカリが85前後であるのに対し，非常に近い数値であり品質の高さを証明するものである

Table 4-1 白米の理化学的特性

実験区	アミロース(%)	蛋白質(%)	水分(%w.b)	酸化度	外観	硬さ	粘り	バランス度	食味値
上流部	19.3a	7.2a	14.8a	7.0a	8.0a	5.9a	8.9a	8.5a	82a
中流部	19.6a	7.0a	14.4b	7.0a	8.1a	5.7b	8.5b	8.4a	81a
下流部	18b	6.4b	15.1c	6.9a	8.7b	5.3c	9.1a	8.9b	86b

第5章 主成分解析による米品質に影響を与える環境主要因の抽出

5.1 解析方法

米の品質に影響を与える主要因を抽出することを目的に、Table 5-1,2 に示す食味要因と環境要因のデータを変数として主成分解析を行った。内田らは主成分解析について次のように述べている”主成分解析を用いた多くの研究では、各主成分を抽出後、因子負荷量の大きな要因に基づいて各主成分の示唆するところを解釈する方法が採られている。しかし、因子負荷量の大小には明確な基準がないために、要因の抽出は個人の主観により大きく異なるものと考えられる”。そこで、本研究は本多らに準拠して構造係数を用いて客観的に検討する方法を採用した。

Table 5-1 白米の理化学的特性

実験区	アミロース(%)	蛋白質(%)	水分(%w.b)	酸化度	外観	硬さ	粘り	バランス度	食味値
上流部	19.3a	7.2a	14.8a	7.0a	8.0a	5.9a	8.9a	8.5a	82a
中流部	19.6a	7.0a	14.4b	7.0a	8.1a	5.7b	8.5b	8.4a	81a
下流部	18b	6.4b	15.1c	6.9a	8.7b	5.3c	9.1a	8.9b	86b

Table 5-2 主成分解析に用いる環境要因のデータ

実験区	平均気温(°C)	平均相対湿度(%)	降水量(mm)	積算日射量(MJ/m ²)	全窒素(mg/L)
上流部	22.1	79	15.2	12.74	4.3
中流部	21.2	75	6.5	10.92	3.0
下流部	24.0	85	8.0	12.42	1.1

5.2 結果と考察

Fig.5-1 に第一主成分の構造係数の算定より得られた結果を示す。食味値やバランス値などの食味要因が正の高い影響を及ぼすこと、食味値を減少させるたんぱく質やアミロース、硬さなどの要因が負の影響を与えていることから第一主成分は「米の品質に関わる成

分」を示しているものと考えた。 Fig.5-1 より米の品質に影響を及ぼす変量は、環境と食味で構成されることがわかる。なお、各種変量の関係は、第一成分で 78% 説明された。

気温とアミロースは負の相関があった。寺島らは気温とアミロースの関係は、高温環境ほどアミロース含有量は減少することを明らかにしており、今回得られた結果も同様の傾向を示した。

湿度は品質に正の影響を与えた。湿度は蒸散に伴う水分の吸収、すわなち窒素との関係があると考えられるが、現在多くの報告がなされており、定まった答えが出ていない。このため、湿度については検討を重ねる必要があると考えられる。

全窒素とたんぱく質は正の相関を示した。この水中の全窒素とたんぱく質含有量の関係は、米のたんぱく質の生成は窒素分の供給量によって変動することを示唆している。

以上の解析結果及び考察から気温、湿度、全窒素は米の品質に関わる主環境要因であると推察される。

次に、環境要因から合成変量を求め 3 実験区の序列化を行った結果、下流部の環境が最も優れており、上流部、中流部の順であった。下流部は気温・日射も十分であり、水質も窒素濃度が低いため、良い結果が得られた。また、上流部は灌漑水の窒素濃度が高いので茶園の施肥量の調節や、稲作の施肥量の調節を行うことで、たんぱく質含有量を改善することができると考える。

最後に、今回の 3 実験区では異なる品種が栽培されていたことから、品種の影響に考察を加える。 Fig.5-2 , 3 は福岡県農業総合試験場で行われた、平成 14 年から 16 年の 3 品種の食味成分含有量について示したものである。 Fig.5-2 からたんぱく質含有量は同じ品種でも

年毎に異なるものであることがわかり、その順番も一定ではない。これは3品種のたんぱく質含有量の大小が品種特性よりも、生育環境に支配されると解釈されるものである。一方、アミロース含有量については Fig.5-3 に示すように年毎に変動するものの、つくしろまんの含有量が3品種の中で常に最も低い。これは遺伝的な影響を示している。しかしながら、今回の実験結果では、遺伝的にアミロース含有量の低い中流部のつくしろまんのアミロース含有量は最も高かった。今回の計測結果が米の品質に関わる環境要因の影響を強く反映したものであると推察される。また、今回の主成分解析による主要因の抽出は従来報告とも整合しており妥当な結果だと解釈される。

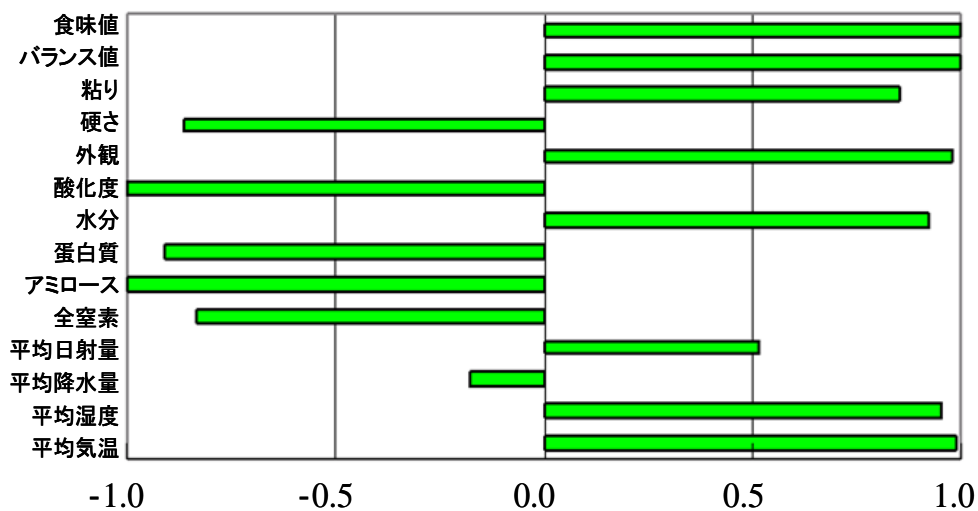


Fig.5-1 第一主成分（米の品質）の構造

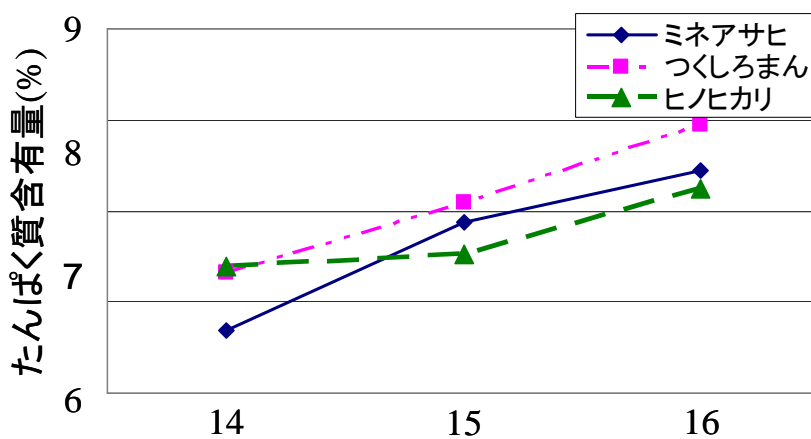


Fig.5-2 平成14年から16年における3品種のたんぱく質含有量

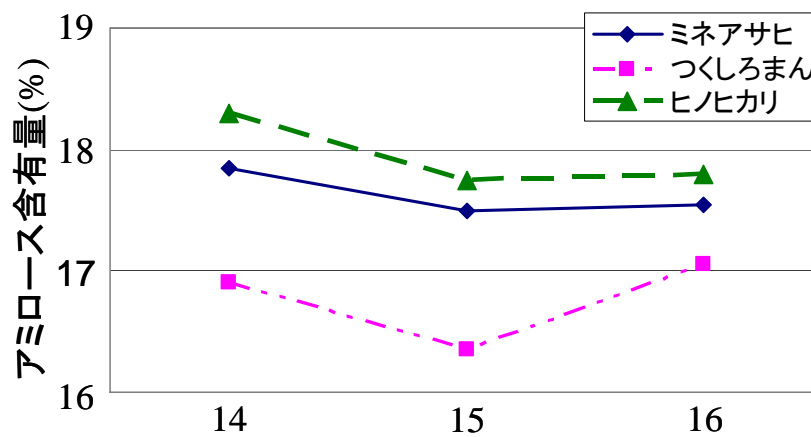


Fig.5-3 平成14年から16年における3品種のアミロース含有量

第6章 結論

本研究では，星野村棚田の同一水系に位置する標高の異なる3水田において，稲の生育期間の気象，水環境を計測し，棚田の米生産環境を評価した．また，品質に最も影響を与える出穂後20日間の米生産環境のデータを用いて，主成分解析により米の品質に関わる環境要因について検討を行った．得られた結果を以下に示す．

- i) 幼穂形成期以降における星野村棚田の気候は米を生育する適温環境範囲にあることが示された．また，夜間の気温が下がるために稲の呼吸活動が抑制されることが食味向上の一因として推察される．
- ii) 米の品質に影響を与える環境主要因は気温，湿度，全窒素であることが示された．
- iii) 星野村は茶の生産が盛んで，施肥による影響が谷川の水質に顕著に表れていた．上流部では平均全窒素濃度が4.3mg/Lであり，下流部では濃度が2.6mg/Lまで低下することが確認できた．
- iv) 山間部は平野部と比べて地形的な要因から日射環境が不利である場所があった．
- v) 棚田米の食味値は3実験区ともに80以上であり，良食味米であることが確認された．

星野村の棚田環境に合った適切な品種を選定することで，栽培計画，施肥管理により，環境に優しく高品質な米の生産支援を行いたい．また，生産面だけではなく，棚田が有する多面的機能の定量化を行うことも今後の課題として挙げられる．今後も，棚田地域の環

境を活かすことができる支援システムの構築に向けて、観測を継続的に行い、データを蓄積していきたい。

謝辞

本論文の作成にあたり，御指導，御協力を承りました九州大学大学院生物資源環境科学府生産環境科学部門生産環境学講座の森健教授，平井康丸助教授に深く感謝し，厚く御礼申し上げます．

なお，本研究を実施するにあたり，九州大学大学院農学研究院生産環境科学部門水環境学研究室，灌漑利水学研究室，土環境学研究室に便宜を図って頂いてことに感謝を表します．

また，同講座特別研究員尾崎彰則氏，博士課程 Bui Quoc Lap 氏， - 氏，濱上邦彦氏，修士課程柿崎新之助氏，木佐貫順子氏には，御助言，御教示など，終始惜しめない御協力を頂き深く感謝致します．

最後に，いつも互いに励ましあった同期の山崎寛史氏，陳元氏に感謝の意を示すと共に，いつもかげながら協力，激励して下さった家族に心より感謝の意を捧げて結びとさせていただきます．

2007 年 3 月

田上 賢吾

参考文献

- 1) 中島峰広 (1999), 日本の棚田, 古今書院出版, 東京, 214-231
- 2) 北浦勉, 赤峰壽ら (1986), 棚田整備の留意点, 農業土木学会誌, 54:217-222
- 3) 星野村役場 (2006) 統計ほしの, <<http://www.mfj.co.jp/hoshino/youran/index.html>>2007年2月13日参照
- 4) 村山登, 吉田よし子ら (1986), 稲作科学の基礎, 博友社, 東京, 73-126
- 5) 楊重法, 井上直人 (2005), イネ登熟前期の再転流速度に及ぼす気温の影響のモデル化, 日本作物学会紀事 74(1):65~71
- 6) 寺島一男, 斎藤祐幸ら (2001), 1999年の夏季高温が水稻の登熟と米品質に及ぼした影響, 日本作物学会紀事, 449 ~ 458
- 7) 内田泰三, 後藤美和子ら (1999), 湿性植物群落の成立に影響を及ぼす諸環境要因の抽出, Grass Science 45(3):304-319
- 8) 本多正久, 島田一明 (1977), 経営のための多変量解析法, P 84 ~ 101, 産能大学出版部, 東京, 84-101

(Walter Larcher, 植物生態生理学)

(日本の棚田, 1999)

北川ら, 1995 分けつ後期の温度条件の違いが水稻の穎花生産効率に及ぼす影響