琉球大学学術リポジトリ

[寄稿]サトウキビの増産と光合成機能を利用した地球 環境調節

メタデータ	言語:
	出版者: 南方資源利用技術研究会
	公開日: 2014-10-26
	キーワード (Ja): バイオマス, バガス炭, 地球温暖化,
	ウージ酢, 土壌改良
	キーワード (En):
	作成者: 川満, 芳信, KAWAMITSU, Yoshinobu
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002016611

寄稿

サトウキビの増産と光合成機能を利用した地球環境調節

川満芳信

*琉球大学農学部

Regulation of the global environment using increased production and photosynthetic function of sugarcane

Yoshinobu KAWAMITSU

Faculty of agriculture, University of the Ryukyus

Keywords:バイオマス,バガス炭,地球温暖化,ウージ酢,土壌改良

はじめに

現在、地球環境問題、特にCO₂濃度上昇に伴う温暖化問題が深刻化してる。地球の温暖化ガスとしてCO₂、メタン、フロン、一酸化窒素などが原因と言われているが、特にCO₂は植物の光合成の基質として利用されるため、農業と深く関わっている。しか

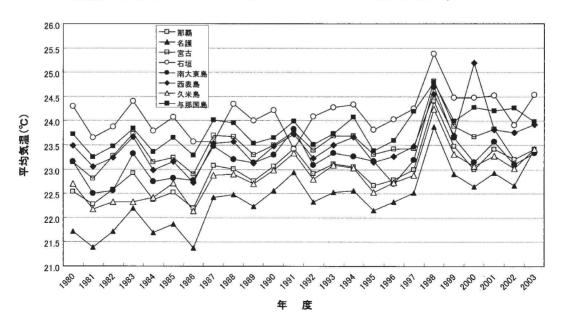


図1. 沖縄各島の平均気温上昇.

^{*}沖縄県西原町千原1番地

0.686),那覇が y = 0.045x + 22.4(r = 0.664)となった.このそれぞれの係数に23年を代入すると,名護が1.52 \mathbb{C} となり,次いで,久米島の1.02 \mathbb{C} ,那覇は1.04 \mathbb{C} となる.様々なデータを基礎に,地球の温暖化に伴う温度上昇をシュミレーションした結果は,100年でせいぜい0.4 \mathbb{C} \mathbb{C} である.この沖縄地方のデータは,局所的に温暖化が急速に進行していることを示唆している.もし,このままのスピードで温暖化が進んだ場合,100年後,2104年の名護は現在の23.1 \mathbb{C} より6.6 \mathbb{C} も高くなり29.7 \mathbb{C} になる.この沖縄地方の温暖化を一時的な現象として捉えるか否か,真剣に考える必要がある.

沖縄県のサトウキビ産業は、1989年頃から栽培面積、生産量が急速に減少している(図 2). また、沖縄のサトウキビの特徴は1960年以降、単収がほとんど変わらない点である. 本土のイネの単収は1945年頃から毎年上昇し現在約3倍に、また、米国の小麦も約2倍以上も増加している. 沖縄のサトウキビの栽培面積を維持しながら増産に導くためには、単位面積当たりの収量、単収(反収)を増大させることが極めて重要である.

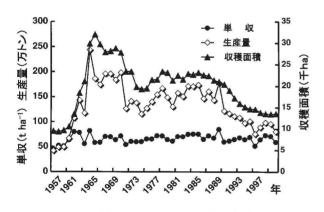


図2. 沖縄県のサトウキビ生産状況.

サトウキビは、葉の光合成能力もバイオマス生産力も高く、また、台風や干ばつにも強いという特徴を有している。平成15年9月、宮古地方を襲った台風14号の様に最大瞬間風速74m/sとか86m/sの猛烈な風に見舞われても、サトウキビの被害は僅か15~20%減と言われ、また、1ヶ月後にはほぼ完全に回復するという、驚異的な作物でもある。平成15/16年度沖縄製糖株式会社の原料処理実績が、前年度を上回った事からも判断して、サトウキビの台風に対する抵抗性の強さが窺える。一方、最近人気の高いマンゴーでは高価な設備投資をして建設したハウ

スが同台風で無惨にも打ち砕かれ、今なお復興ができない状態が続いている.

サトウキビ産業を産業連関表から求めた経済波及効果は4.3倍と際だって高い. しかし, きつい, やすい, 土地利用型作物, 等の理由で徐々にサトウキビ離れが起きている状況にある. そのキビ離れを食い止め後継者を育成する画期的な打開策として, サトウキビの総合利用と地球の環境悪化問題と絡めて増産に導くことを考案した. 「バイオ・エコシステム」というプロジェクトであるが, 農業, 作物, 環境問題を総合的に研究する産学官の共同研究でもある. その趣旨は, 島嶼県沖縄を, サトウキビを中心に活性化を図り, 最終的に地域の発展にも繋げ, また, 作物 (サトウキビ) を生産すればするほど環境保全に役立つ, という両者が美事に調和のとれたシステムの構築にある.

すなわち、本プロジェクトの最終目標は、循環型 社会、ゼロエミッションの考えに基づき、バイオマ ス資源を有効利用して地球の温暖化を抑制し、「未 来永劫の住みよい島創り」にある。

サトウキビ (C₄植物) の光合成能力は極めて高い

サトウキビは、葉からCO₂を、根から水を吸収し、 これら無機物から太陽エネルギーを利用して有機物 のショ糖を作り、酸素を放出する、この過程を光合 成作用と呼ぶが、葉で合成されたショ糖は維管束を 通って転流され、バイオマスが生産される. サトウ キビ (C4植物) は、稲や麦など (C3植物) と比較 して葉の光合成速度が極めて高い作物のひとつであ る. 光合成速度が高いということは、大気CO2を吸 収する能力に優れているということでもある. その 理由として、まず、葉の外囲CO2濃度を370ppmと すると、サトウキビの葉の内部のCO2濃度は約100-130ppmに維持され、葉内外CO2濃度落差は約270-240ppmになる. 一方、C₃植物の濃度落差はC₄植物 の約半分の170ppmである。CO2は、物理的拡散現 象で葉に吸収固定され、この落差の大きさがサトウ キビの光合成速度が高い要因の一つになっている (図3).

サトウキビの葉は光エネルギー(光強度)を強くすると、光合成速度は上昇する.一方、イネなどC。植物の光合成速度は、強光域では飽和に達する.温度に対する光合成反応は、イネの場合、最適気温は

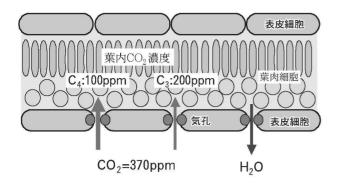


図3. サトウキビ (C₄) は葉の外部と内部のCO₂ の落差が大きいため光合成速度が高い.

25℃付近に,サトウキビでは32~33℃にある.また, CO_2 濃度が上昇すると,サトウキビの光合成は約300ppm付近で飽和に達し,濃度上昇と無関係にあるが, C_3 植物の場合1000ppm付近まで上昇し続ける.現在の CO_2 濃度375ppmで比較すると,サトウキビは C_3 植物に比べ高い光合成能力を発揮していると言える(図 4).

バガス炭化による大気CO2の永久固定

サトウキビの葉の光合成と地球環境との関連について述べる。現在、地球の大気中のCO2濃度は375 ppmである。しかし、化石燃料の使用量が今以上に増加し続けるとと、この先どこまで大気中CO2濃度が上昇するか予測が出来ない。本プロジェクトは、上昇し続ける大気中のCO2濃度を植物の光合成を利用して固定し、削減しようとするものである。地球の周りには様々なガスがある。太陽の光は地球表面に当たって反射するが、その内、長波長の赤外線は大気圏外に放射される。しかし、大気中CO2濃度が上昇すると、地表面で反射された太陽光の内、赤外線部分はガスに吸収され大気圏外に放射されず、再

び地表に戻る. この状態は、冬期のガラス温室の中の状態によく似ているので、温室効果と呼ばれる. もし、大気中のCO2濃度が現在の375ppmから、仮に倍の700ppmになったとすると、地球は急速に温暖化すると予想される. 以上が地球温暖化のメカニズムである.

沖縄の温暖化は、図1でみたように、急速に進行 し, 身近な出来事として珊瑚の白化現象. 異常潮位. および台風の発生時期の前進化など様々な兆候が観 察される. その対策を国際的に話し合うため. 1997 年に京都会議が開かれ、京都メカニズムが提案され た. また. それを受けて政府は、2002年12月にバイ オマス・ニッポン総合戦略を閣議決定し、植物のカー ボンニュートラルな特徴が具体的な方策として期待 されている. 現在、全世界で239億トンのCO2が排 出され、そのうち、アメリカが23%、日本が5%の 11.95億トンを排出している。京都議定書では、日 本は1990年レベルの6%削減を義務づけ、数字的に は7,107千万トンを2008年から2012年までに削減し なければならない. バイオマス・ニッポン総合戦略 では、地球温暖化対策が遅れるほど、短期間での義 務履行が求められることから、今からできる取り組 みを着実に推進することが必要であると謳っている. その総合戦略のキーワードは「バイオマス」と「カー ボンニュートラル」で、植物(作物)で日本を再生 しようという大きな国家戦略と言えよう.

そのバイオマスとして政府が注目しているものに 沖縄のサトウキビのバガスがある.しかし、バガス は現在のところ主に燃料として利用され、様々な利 用を考えた場合、製糖工場における余剰化が大きな 鍵となっている

地球の炭素の循環は、図5で示されるように、大

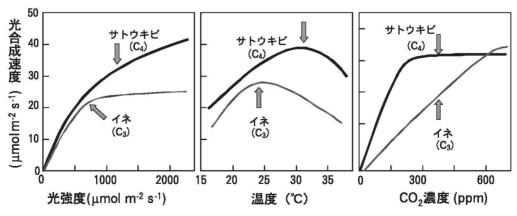


図4. サトウキビ(C4)とイネ(C3)の光合成速度に対する光強度,温度,CO2濃度の影響.

気CO₂は、まず、植物の光合成作用で固定される。 その後、動物が植物を食べ、その動物の呼吸でCO。 に戻り、さらには糞をバクテリアやカビなどが分解 してその呼吸で再びCO2に戻る。また、植物自身も 呼吸を行いCO2に戻る。6億年前の植物が石炭や石 油になって、この化石燃料を我々が現在燃焼するこ とによってCO2を発生させ、地球温暖化が引き起こ される。バイオマス・ニッポンは、このカーボンニュー トラルという点に着目し、バイオマスを主にエネル ギーとして利用しようという戦略である(図5). しかし、バイオマスをエネルギーとして利用しても、 大気中CO2は延々と増加すると予想される。そこで、 我々はバイオマスの炭素を熱分解して無機化し、固 める(炭化)という方法を選択した、様々なCO2固 定方法が各分野から提案されているが、植物の葉は 効率の良い安価なCO。フィルターと見ることもでき る. 更に、葉の光合成で固定されたCO2を地球に留 め、大気中に戻さない方法としてバイオマスを炭化 する方法が有効と考えた. 具体的には、サトウキビ 製糖工場の燃料用バガスを余剰化させ、一部を炭化 して土壌改良資材として畑に撒くことで永続的に固 定する. つまり微生物が分解できない形態にするこ とを考案した. 同方法は地球温暖化抑制にも貢献で き. 同時にサトウキビも増産できる画期的な方法と 言えよう.

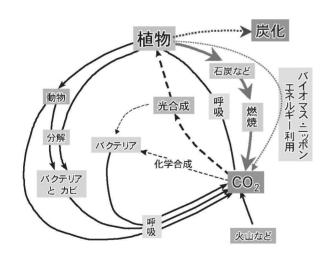


図5. 地球の炭素回路.

サトウキビは、葉の光合成速度が高く、世界中で 年間12.7億トンも恒常的に生産されている。特に、 バガスは製糖過程の副産物で、しかも毎年生産され、 森林の成長に約30年要することと比較すると、サト ウキビの成長はそれの約30倍と言える。加えて、原 料が製糖工場に集まり、バイオマス収集コストが極 めて低いのも特徴である. 最も大きな特徴として. サトウキビは年間を通して、また、熱帯、亜熱帯の 島嶼でもCO2を固定できる点になる。それらをまと めると、図6のようになる。まず、サトウキビは葉 の光合成でCO₂を最初に固定し、茎などのシンクへ と転流される。そのサトウキビ原料が圃場から工場 へ搬入され、圧搾された後、絞りかすのバガスの約 80%がボイラーの燃料として使われる. しかし. 製 糖プラントの改善やボイラーの改善を図ることによっ てバガスを約40%余らせることができることも明ら かになった。その余剰バガスを炭化して畑に撒き. 土壌改善を図る. 同時に副産物の糖蜜、ウージ酢、 堆肥もでき、これらを畑にまいて増収を図り、さら に葉の光合成CO2固定を促進させ、加えて製糖工場 の歩留りもアップして理想的な循環型システムが形 成できると考えている.

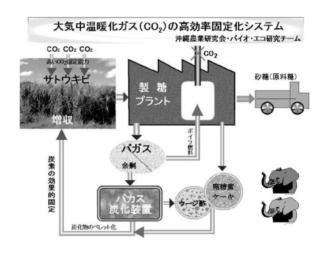


図6. サトウキビを利用したCO。固定システム.

バガス炭の土壌改良効果

開発したバガス炭化装置は、特徴として、連続式でバガスを炭化する、化石燃料に頼らない自燃方式を採用した。バガス炭の農業への利用は、土壌改良資材など様々である(図7)。また、そのとき発生する乾留ガスを冷却すると酢液(ウージ酢)が回収でき、それもサトウキビ栽培に有効利用しようと考えている。炭化物は、窒素固定菌やVA菌根菌などのバクテリアのキャリアにもなると言われる。バガス炭の特徴は、pHが9.8と木炭に比べて高く、ミネラル成分のカリ成分や他の成分も豊富に含まれている。バガス炭の最大の特徴は、木炭に比べて含水比

が極めて大きいことである(図8, 小宮康明氏データ). すなわち, バガス炭は約500%の水を含むことができ, それは例えると紙オムツのようなもので, 保水性が非常に良いものである. もし, それらを畑に重量比で1~2%混合すると, 無処理区に比べサトウキビの生育が良くなることが明らかになった. 同時にブリックス, さらには茎重もバガス炭を2%入れた区が高く, 糖度も高くなるということも明らかになった.



図7. バガス炭の利用分野.

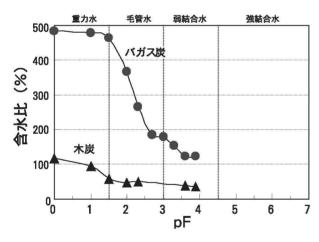


図8. バガス炭の保水性.

バガス炭を、宮古島の地下ダムに含まれる硝酸態窒素除去に利用できないかと考え、実験室でバガス炭を入れた筒に硝酸を流して、下部から溶出する水にどれだけNO®が含まれているかを調べた。その結果、バガス炭混入区は硝酸を吸着することも明らかになった。現在、サトウキビ畑で肥料として与えた硝酸は根が吸収する前に地下水に流れ、地下ダムの濃度は7~8 ppmで推移している。もし、バガス炭が混入されると途中で硝酸を吸着し、地下ダムへ流出される量が低減できると期待される。

次に、ウージ酢(酢液)であるが、これはサトウキビの品質の向上への利用を考えている。平成6年から、沖縄全地域の甘蔗糖度と搾汁液に含まれるミネラル成分との関係を調査したところ、中でもカリ成分は糖と負の相関関係にあることを発見した。すなわち、土壌中のカリ含量が増えると甘蔗糖度が落ちることを明らかにした。一方、リン成分が増えれば糖度は上昇することも判明した。宮古島の島尻マージ土壌地帯では、配合(化学)肥料を施肥すると、リンは土壌のカルシウムと結合し、植物が利用できない難溶性リンの状態になる。そのような状態の土壌にウージ酢(pH3.0)を100倍希釈して散布すると、難溶性リンが可溶化しサトウキビのリン酸利用率が高まり、生育促進及び茎の糖度が高まるという結果が得られた(図9)

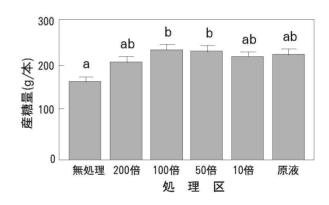


図9. ウージ酢液処理が産糖量に及ぼす影響.

次に、糖蜜が収量および甘蔗糖度与える影響についても調査を実施した。南大東島に展示圃場を設け、慣行区、ゼロカリ区(まったくカリを与えない区)、糖蜜区を設定し夏植えしたところ、ゼロカリ区は慣行区よりも甘蔗糖度は高くなり、さらに糖蜜区は甘蔗糖度も収量も慣行区に比較して高い結果が得られた。通常捨てているようなバイオマス資源(糖蜜)を有効利用することで、サトウキビの甘蔗糖度も上がり、収量も増大する結果が得られた。

この新技術を沖縄から世界へ

サトウキビの地球環境への貢献について述べる. サトウキビの葉の光合成速度がどれだけ寄与するか, について検討する. 沖縄県が100万トンのサトウキ ビ原料を生産したとして, CO₂に換算すると年間63 万トンのCO₂を固定に匹敵する(表1, 2). 沖縄 県と鹿児島県の原料生産はおよそ150万トンである. そこから発生するバガスは26%の39万トンになる. 試算では,その半分を製糖工場の燃料で使用し,半分を余剰化させる.それを歩留り30%でバガス炭にして,さらに炭素量を計算して CO_2 固定量とすると,約15万トンになる(表 3).15万トンで地球温暖化抑制に貢献できるのか?という疑問が出てきます.ここで,世界のサトウキビ生産量に目を向けると,ブラジルは3億4千万トン,インドは3億トンを毎年生産している(図10).これらに対して,日本の生産は,150万トンで,グラフにすると棒にもなりません.中国は約7千万トンを生産し,夕イもかなりの量を生産してる.

表1. サトウキビ収穫時の乾物分配率 (Kg/m).

項目	根	茎	葉	枯葉	葉鞘	全乾物
乾物重	0.29	2.73	0.30	1.51	0.17	5.00
割合(%)	5.8	54.6	6.0	30.2	3.4	100.0

宮里 (1986)より

表2. 沖縄県におけるサトウキビのCO2固定能力(トン).

茎生産量	茎乾物重	全乾物重	うち有機物	CO₂換算
1,000,000	250,000	457,876	434,982	638,119

- 注1) 茎乾物重=茎生産量×0.25 (茎の乾物率25%)
- 注2) 全乾物重=茎乾物重/0.546 (茎の乾物分配率54.6%)
- 注3) うち有機物量=全乾物重×0.95 (無機物含有率5%)
- 注4) CO₂換算=有機物量×1.467 (CO₂の分子量44/有機 物の分子量30)

世界では1年間に12億7千万トンのサトウキビが生産され、先ほどの試算を当てはめると、年間サトウキビの葉が固定している CO_2 量は8億トンになる。残念ながら、そのほとんどが製糖工場の燃料や堆肥に使われている。もし、製糖工場の省エネ、製糖行程の効率化、およびボイラーの改善等を実施してバガスを大量余剰化し、その一部を熱分解(炭化)出来れば、年間1億3千万トンの CO_2 固定が可能になる(表4)。このように世界のサトウキビ生産からみると、バガス炭化技術を応用することで温暖化ガス抑制に十分に貢献できると確信している。

沖縄から、「バイオマスオキナワ」 \rightarrow 「バイオマスニッポン」 \rightarrow 「バイオマスワールド」を実現させたい。

表3. バガス炭化によるCO2固定量(試算).

日本のサトウキビ生産量	1,500,000t
バガス生産量 (26%)	390,000t
余剰バガス量(50%)	190,000t
バガス炭生産(歩留り30%)	57,000t
バガス炭のC含量 (57,000 t ×0.75)	42,750t
CO2の固定量は (42,750 t ×3.6)	153,900t

表4. バガス炭化によるCO2固定量(試算).

世界のサトウキビ生産量	1,273,370,750t
CO2固定量 (63.8%)	812,410,539t
CO2の永久固定量は	
$37,246,094 \vdash \times 3.6$	134,085,940t

注1):バガスを約50%余剰化しそれを炭化した場合.

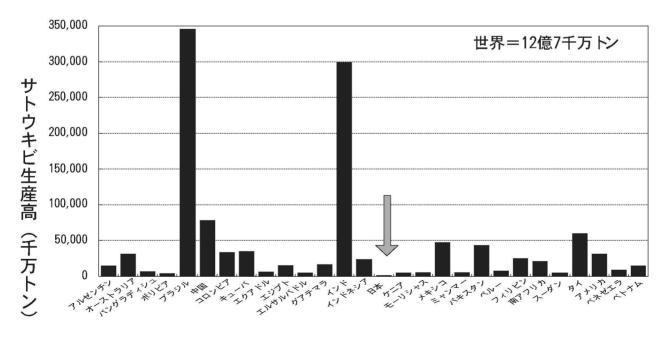


図10. 世界主要国のサトウキビ生産高(2001年).