

キュウリの季節に依存した生体反応リズムの発見

Discovery of seasonal dependence of bio-reaction rhythm with cucumbers

—キュウリ切片化時刻と放出されたガス濃度との関連性より—

-Based on the relationship between cucumber sectioning time and released gas concentration-

高木 治¹、坂本 政道²、世一 秀雄¹、小久保 秀之¹、河野 貴美子¹、山本 幹男¹

¹ 国際総合研究機構 (IRI) 情報研究センター、千葉県千葉市稲毛区園生町 1108-2

² (株) アクアヴィジョン・アカデミー、千葉県成田市津富浦 1228-3

Osamu Takagi¹, Masamichi Sakamoto², Hideo Yoichi¹, Hideyuki Kokubo¹, Kimiko Kawano¹ and Mikio Yamamoto¹

¹ Information and Research Center, International Research Institute (IRI), 1108-2 Sonno, Inage, Chiba 263-0051, Japan.

² Aquavision Academy, 1228-3 Tsubuura, Narita, Chiba 287-0236, Japan.

キーワード：生体反応、リズム、キュウリ、概日リズム、ヘキサノール、ヘキサナール、ガス、バイオセンサー、季節、相関係数

Keyword: bio-reaction, rhythm, cucumber, circadian variation, hexanol, hexanal, gas, bio-sensor, season, correlation function

要旨

野菜や果物の様々な生体反応の研究は、害虫対策、流通や保管等の対策上、重要である。

本論文の目的は、収穫後のキュウリ果実の生体反応のリズムに関する新しい知見を得ることである。この目的のために、我々はキュウリ切片から放出されたガス濃度（ヘキサノール-ヘキサナール系ガス）の測定をおこなった。その理由として、ガス濃度の変化に日内変動における周期性が観測されたならば、その周期性がキュウリの生体反応のリズムに対応すると考えたからである。

実験においては、キュウリが切片化された時刻と、その後に放出されたガス濃度を測定した。我々は、測定されたガス濃度に対して 24 時間あたりの周期数を様々に仮定し、その周期近似曲線を求めた。ガス濃度と周期近似曲線との相関係数から、ガス濃度に周期性があるかどうかを解析した。

解析の結果、我々はキュウリを切片化した時刻によって、切断面から放出されるガス濃度が異なること、またガス濃度の変化に周期性があることを発見した。さらに、ガス濃度の周期性は季節によって異なり、夏期は 1 周期が 6 時間、冬期は 1 周期が 24 時間の周期性があることを発見した。

1. 序文

野菜や果物の様々な生体反応の研究は、害虫対策、流通や保管等の対策上、重要なことである。

収穫後の野菜や果物について、特に生体反応のリズムに関する 2 つの興味深い研究が報告されている。(1) 収穫後の野菜や果物の生体機能が、一週間以上持続している (キャベツ: アブラナ科アブラナ属、レタス: キク科アキノノゲシ属、ホウレンソウ: ヒユ科アカザ亜科ホウレンソウ属、ズッキーニ: ウリ科カボチャ属、サツマイモ: ヒルガオ科サツマイモ属、ニンジン: セリ科ニンジン属、ブルーベリー: ツツジ科スノキ属)。

生体機能が維持されている間、野菜や果物に光を当てる時間を人為的に調節することによって、生体反応のリズムが変化する[1-3]。(2)植物の生体反応は、概日リズムの影響を受けていると考えられるが、シロイヌナズナ（アブラナ科の植物でキャベツ、ブロッコリ、カリフラワーなどと近縁関係にある）の生体内では、周期性が異なる複数の生体反応のリズムが同時に存在している[4]。

本論文の目的は、収穫後のキュウリ果実の生体反応のリズムに関する新しい知見を得ることである。この目的のため、我々はキュウリ切片から放出されたガス濃度の測定をおこなった。

ガス測定実験の特徴や前提条件および仮定した内容は以下のとおりである。(1)収穫された食用キュウリ（ウリ科キュウリ属：*Cucumis sativus* ‘white spine type’ cucumber）が実験に使用された。(2)人為的な操作を行わない限り、キュウリの生体反応のリズムが収穫前と収穫後で変わらないという前提で実験をおこなった。(3)キュウリの様々な生体反応のうち、我々はキュウリを切片化し、傷をつけた後にガスが放出されるという反応を利用した。(4)実験において、キュウリを切片化した時刻と、切片化から 24 時間以上が経過した間に放出されたガス濃度（ヘキサノール-ヘキサノール系ガス）を測定した。(5)仮定した内容：キュウリの生体反応の度合は、時刻によって変化する。生体反応の度合の変化が、傷ついたキュウリから放出されるガスの量を変化させる。時刻の違いによって、キュウリの生体反応の度合が変化（キュウリの生体反応のリズム）することと、切断面から放出されるガス濃度とが同期している。

我々は、キュウリの生体反応のリズムの特徴を明らかにするためにガス濃度を測定した。しかし、傷ついたキュウリから放出されたガスを、時間的に連続測定したわけではない。我々はキュウリを切片化した後、一定時間密閉容器に保管した。そして、切断面から放出されたガスが容器の中で平衡状態に達した後のガス濃度を測定した。つまりこの実験によって、キュウリが切片化された時刻と、その時刻における生体反応の度合によって決まるガス濃度が測定された。従って、ガス濃度の変化に周期性が認められた場合、その周期性が生体反応のリズムであるとみなすことができる。

我々は、ガス濃度のデータから周期近似曲線を求め、ガス濃度と周期近似曲線との相関係数の大きさから、ガス濃度に周期性があるかどうかを判断した。その結果、我々はキュウリを切片化した時刻によって、切断面から放出されるガス濃度が異なること、またガス濃度の変化に周期性があることを発見した。さらに、ガス濃度の周期性は季節によって異なり、夏期は 1 周期が 6 時間、冬期は 1 周期が 24 時間の周期性があることを発見した。

2. 実験

2-1. キュウリ切片から放出されたガス濃度を測定する方法

キュウリを切片化した後、生体反応によって切断面から放出されるガス濃度を測定するため、我々は零点同時補正法（Simultaneous Calibration Technique：SCAT）を用いた[5]。SCAT は本来、生体センサ（キュウリ）を用いて空間特性を検出するために開発されたセンシング方法である。この方法は、キュウリの個体差や環境条件の変化によって発生するデータの偏りを解消することができる。そのため SCAT は、キュウリのガス生成の反応系に何らかの影響を与える、微弱な効果の存在を検出することが可能である。その結果、これまでの既存のセンサでは困難と考えられていた空間特性の検出が可能となった[6-11]。本論文においては、SCAT は空間特性を検出するセンシング方法として用いられたのではなく、キュウリ切片から放出されたガス濃度の変化を明らかにするために用いられた。

2-2. SCAT によるキュウリ切片試料の作成および設置方法

Fig.1 は、SCAT によってキュウリ切片試料が作成された様子である。SCAT 実験の 1 セット（最小実験単位）においては、キュウリを 4 本、ペトリ皿 8 個が使用された。キュウリ 1 本から長さ 2 cm の試料が 4 個切り出され、切り出された試料はさらに半分に切断され、それぞれが別々のペトリ皿に置かれ、4 つのペア試料が用意された（ペア 1 ～ ペア 4）。キュウリ個体のばらつきによる影響を排除するため、各ペトリ皿には 4 本のキュウリから各 1 個ずつ、計 4 個のキュウリ切片が置かれ、メインサンプル（ペア 1、ペア 2）及びコントロールサンプル（ペア 3、ペア 4）が作成された。ペアどうしのキュウリ切片の表面は同一の切断面であり、 G_E の面は蔓側、 G_C の面は花側であった。ここで $G_{E1} \sim G_{C4}$ は、8 個のペトリ皿を表すと同時に、各ペトリ皿の試料から放出されるガス濃度(ppm)をも表している。メインサンプルの G_{E1}, G_{E2} は測定ポイントに設置された。メインサンプルの G_{C1}, G_{C2} 及びコントロールサンプル $G_{E3}, G_{C3}, G_{E4}, G_{C4}$ は、2 個ずつ重ねられ、測定ポイントから充分離れた校正基準点に設置された。 G_{E1} 及び G_{E2} は測定ポイントの場の影響を受けるが、校正基準点に設置した G_{C1}, G_{C2} は測定ポイントの影響を受けない。そのため、ペア 1 の G_{E1} と G_{C1} とでは、放出されるガス濃度は異なると考えられる（ペア 2 の G_{E2} と G_{C2} も同様）。 G_{C1}, G_{C2} 、ペア 3 (G_{E3}, G_{C3}) およびペア 4 (G_{E4}, G_{C4}) の試料は、切片化から校正基準点に設置されるまで、全く同一の環境のもとにある。従ってそれぞれの生体反応も同じになり、放出されるガス濃度が等しくなると考えられる。

本論文では、外的な影響によって変化を受けたガス濃度ではなく、キュウリ本来の生体反応のリズムに対応したガス濃度を得ることが目的である。この理由から、 $G_{E1} \sim G_{C4}$ の 8 個の試料の中で、解析対象となるデータは校正基準点に置かれた試料のガス濃度 $G_{C1}, G_{C2}, G_{E3}, G_{C3}, G_{E4}, G_{C4}$ の 6 個である。

2-3. ガス濃度の測定

キュウリ切片試料は作成後、測定ポイントおよび校正基準点に 30 分間設置された。その後ペトリ皿の蓋を外し、試料は容積が 2.2 リットルのポリプロピレン製の密閉容器の中に設置された。密閉容器の中で、キュウリの切断面からヘキサノール-ヘキサナール系ガスが放出された。

キュウリから放出されるガスの主な成分は、主に 16 種類であることが判明している[12-13]。切片化から約 12 時間後、放出されたガス濃度は最大に達し、その後平衡状態を保っている。密閉容器は 24 時間以上、直射日光が当たらず温度制御された（摂氏 22～24 度）部屋に保管された。保管後、ガス検知器（GV-100: ガステック、日本）及びガス検知管（141L: ガステック、日本）を使用して、密閉容器中の気体を 300 ml 吸引しガス濃度が測定された。

我々が使用しているガス検知管は、2-ヘキサノールガスの濃度測定が可能である。2-ヘキサノールガスを測定した場合、換算係数が 3 であるため、検知管の読み値 (ppm) を 3 倍することによって、2-ヘキサノールガス濃度の絶対値が決まる。しかし、キュウリ切片から放出される 16 種類の混合ガスの中には、2-ヘキサノールの異性体等が含まれている。キュウリから放出されるガス濃度を正確に測定するためには、2-ヘキサノール異性体の構成比と変換係数が必要である。しかし、現時点では 2-ヘキサノール異性体の換算係数は分かっていない。本論文の目的は、キュウリから放出されたガス濃度の絶対値を求めるのではなく、放出されたガス濃度の日内における相対変化の特徴を明らかにすることにある。そのため我々は本論文において、検知管の読み値(ppm)をそのままガス濃度として利用し解析をおこなった。

2-4. 実験で使用されたキュウリ

本実験で使用したキュウリは全て、日本の市場で一般的に流通している、食用キュウリ（ウリ科キュウリ属：Cucumis sativus ‘white spine type’ cucumber）であった。実験は、2012 年から 2016 年にかけて、年間を通しておこなわれた。実験回数は、SCAT 実験のセットの数で、全部で 1056 セットであった。キュウリの使用本数は 4224 本。全 1056 セットのうち、夏期（昼の長さが 12 時間以上）には 693 セット、冬期（昼の長さが 12 時間未満）には 363 セットの実験がおこなわれた。

3. 実験結果

Fig.2(a)がガス濃度の測定結果である。縦軸は校正基準点に設置された 6 個の試料のガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ を示す。横軸はキュウリを切片化した時刻（校正基準点に試料を設置した時刻）で 00:00 時から 24:00 時までの 24 時間を示す。キュウリを切片化した時刻と試料の設置時刻との差はおよそ 10 分以内であり、ほぼ同時刻とみなすことができる。黄色丸●がガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ のプロット点である（年間データ：n=1056）。赤色四角■は 24 時間を 30 分毎に時間を区切り、その区間内にあるデータの平均値をプロットした（n=48）。誤差棒は 99%信頼区間である。ガス濃度の全平均値は 332.2 ppm（n=1056）であった。

Fig.2(b)は Fig.2(a)で示したガス濃度のヒストグラム（n=1056）、Fig.2(c)はガス濃度の正規性検定のグラフである。Fig.2(c)の赤線は傾き 1 の直線であり、データはほぼ直線上に乗っていることが分かる。帰無仮説として標本分布が正規分布に従うとした場合、コルモゴロフ=スミルノフ検定の結果は $p=0.0643$ となった。この結果から、有意水準が 5%の場合においても帰無仮説が保留され、ガス濃度の分布は正規分布とみなすことができた。

Fig.3 は、Fig.2(a)で示したガス濃度を、夏データ（n=693）と冬データ（n=363）に分けて表示したものである。夏データとは、キュウリの収穫時の昼の長さが 12 時間以上ある場合。冬データとは、収穫時の昼の長さが 12 時間未満の場合である。ここで、キュウリの収穫日はキュウリ購入日の 4 日前と考えている。縦軸と横軸は Fig.2(a)と同様である。橙色丸●は夏データ（n=693）で、青色丸●は冬データ（n=363）である。橙色四角■は、24 時間を 30 分毎に時間を区切り、その区間内の夏のデータ平均（n=48）、また青色四角■は冬のデータ平均（n=48）。誤差棒は 99%信頼区間。

4. データ解析

4-1. 周期近似曲線

校正基準点に設置した 6 個の試料は、キュウリの切片化からガス濃度測定まで、環境条件が同一である。そのため、6 個の試料の生体反応は同じであると予想できる。従って、生体反応に一定のリズムがあるとするれば、Fig.2(a)及び Fig.3 のガス濃度に周期性が現れると考えられる。ガス濃度が周期的に変化しているかどうかを検証するため、(1)式に示した周期近似曲線を使用した。

$$y = a + b \sin(2\pi x N) + c \cos(2\pi x N) = a + \sqrt{b^2 + c^2} \sin(2\pi x N + \varphi), \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{c}{\sqrt{b^2 + c^2}}\right) \quad \cdots (1).$$

ここで、a,b,c は定数。π は円周率である。x は時刻を表すが、0 時から 24 時の時刻が、0 から 1 の数値に対応している。こうした理由は、生体としてのキュウリは基本的に概日リズムをもつため、生体反応によっ

て放出されるガス濃度の変化も 24 時間ごとに位相が一致していると考えたためである。N は 24 時間あたりの周期の数であり、N は 1 から 24 の整数を考える。(1)式は、N=1 の場合 1 周期が 24 時間、N=24 の場合 1 周期が 1 時間の周期近似曲線を表している。N が 1 から 24 のそれぞれの値で、ガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ の周期近似曲線を求め、定数 a,b,c を確定する。その後、ガス濃度と周期近似曲線との相関係数を計算する。その結果、相関係数が有意であると判断された場合には、周期近似曲線の周期が、ガス濃度の周期であり、さらには生体反応の周期でもあると結論することができる。その結果、相関係数が有意であると判断された場合、周期近似曲線の周期がガス濃度および生体反応の周期であると結論することができる。

4-2. ガス濃度と周期近似曲線との相関係数 (年間データ)

Fig.4(a)は年間データを解析した結果である。Fig.2(a)のガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ (n=1056, 48) と周期近似曲線との相関係数が示されている。縦軸は相関係数、横軸は周期近似曲線の 24 時間あたりの周期(N)。黄色丸●は、ガス濃度(n=1056)と周期近似曲線との相関係数の結果である。黒点線は、データ数が 1056 の時、相関係数が 1%有意であるかどうかを判断するための検定値(0.0792)を示す。n=1056 の場合、相関係数が 0.0792 より大きい時、有意相関である。Fig.4(a)より N=1~6 で相関係数が有意と認められる。赤色四角■は Fig.2(a)で示した、年間データの平均 (n=48) と周期近似曲線との相関係数の結果である。赤点線は、データ数が 48 の時、相関係数が 1%有意であるかどうかを判断するための検定値(0.3683)を示す。n=48 の場合、相関係数が 0.3683 より大きい時、有意相関である。この結果、N が 4 および 5 の場合、データ数 n=1056 および n=48 の両方で有意相関となる。従って年間データから、放出ガス濃度およびキュウリの生体反応が、1 周期が 6 時間(N=4)と 4.8 時間(N=5)の 2 つの周期性をもつ可能性が示唆される。

4-3. ガス濃度と周期近似曲線との相関係数 (夏期及び冬期データ)

Fig.4(b)は夏データを解析した結果である。ガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ (夏データ、n=693, 48) と周期近似曲線との相関係数が示されている。縦軸及び横軸は Fig.4(a)と同様である。黄色丸●は、ガス濃度(夏データ n=693)と周期近似曲線との相関係数である。黒点線は、データ数が 693 の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.0977)。この結果、N=2, 4, 6 で、相関係数は有意と認められる。赤色四角■は Fig.3 で示した、夏データの平均 (n=48) と周期近似曲線との相関係数の結果である。赤点線は、Fig.4(a)と同様の検定値(0.3683)。この結果 N=4 で相関係数は有意と認められる。この結果、N が 4 の場合、データ数 n=693 および n=48 の両方で有意相関となる。従って夏データの場合、ガス濃度および生体反応が、1 周期が 6 時間(N=4)の周期性をもつ可能性が示唆される。

Fig.4(c)は冬データを解析した結果である。ガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ (冬データ n=363, 48) と周期近似曲線との相関係数が示されている。縦軸及び横軸は Fig.4(a)と同様である。黄色丸●は、ガス濃度(冬データ n=363)と周期近似曲線との相関係数である。黒点線は、データ数が 363 の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.1350)。この結果 N=1, 5 で、相関係数は有意と認められる。赤色四角■は Fig.3 で示した、冬データの平均 (n=48) と周期近似曲線との相関係数の結果である。赤点線は、Fig.4(a)と同様の検定値(0.3683)。この結果 N=1 で相関係数は有意と認められる。この結果、N が 1 の場合、データ数 n=363 および n=48 の両方で有意相関となる。従って冬データの場合、ガス濃度および生体反応が、1 周期が 24 時間(N=1)の周期性をもつ可能性が示唆される。

年間データを解析した結果は、キュウリ切片から放出されるガス濃度が、1 周期 6 時間及び 4.8 時間の 2 つの周期性を持つことを示唆した。しかし、夏期および冬期の季節依存性を検討した結果、季節によってガス濃度の周期性が異なることを発見した。従って年間データの周期性は、夏期と冬期の合成周期と考えられる。夏期と冬期で、それぞれ 1 周期が 6 時間および 24 時間の生体反応のリズムが実証された。

Fig.5(a)は、夏期および冬期のガス濃度(n=48)と周期近似曲線を示す。橙色四角■は、Fig.3 で示した夏データのガス濃度。橙色曲線は、1 周期 6 時間の周期近似曲線($a=323.64$, $b=-10.58$, $c=4.93$)。青色四角■は、Fig.3 で示した冬データのガス濃度。青色曲線は、1 周期 24 時間の周期近似曲線($a=350.48$, $b=-15.06$, $c=-19.36$)。誤差棒は 99%信頼区間である。

Fig.5(b)は、夏期および冬期のガス濃度(n=48)と周期近似曲線の近似値との相関図を示である。縦軸は測定されたガス濃度、横軸は、1 周期が 6 時間(夏期)と 24 時間(冬期)の周期近似曲線の近似値。夏データ(橙色丸●)の場合、相関係数が 0.477、冬データ(青色丸●)の場合、相関係数が 0.582。

5. 考察と結論

我々はキュウリを切片化した時刻の違いによって、切断面から放出されたガス濃度が異なり、切片化時刻とガス濃度との間に、日内変動における周期性があることを発見した。そして、キュウリの生体反応のリズムが、夏期には 1 周期が 6 時間、冬期には 1 周期が 24 時間の季節依存性をもつことを実証した。しかしながら、解析に用いられたガス濃度は生の測定データであり、較正されたデータではない。そのため、解析に結果得られたガス濃度の周期性が、キュウリの生体反応を反映したものではなく、他の外的要因の影響を受けた可能性があることを否定することができない。その結果、我々はガス放出の周期性に関して、生体反応リズム以外の要因について検討した。

ガス放出という生体反応に影響を与える外的要因は、次の様なものが考えられる。例えば温度、湿度、大気圧、電磁場、地磁気、光度、機械的な振動等である。今回発見された生体反応の周期が、6 時間および 24 時間であることを考慮すれば、電磁場、地磁気、光度、機械的な振動等がガス生成に周期的な影響を与える可能性は少ないと考えられる。

次に夏期と冬期の温度、湿度、大気圧の変化を解析した。その結果、夏期、冬期共に温度が 24 時間周期で変化していた。温度とガス濃度の相関を計算した結果、冬期の温度とガス濃度とが有意相関となった。そこで、冬期のガス濃度を温度によって補正した後、ガス濃度の周期性の有無を検証した。その結果、依然として、24 時間の周期性が有意に存在していることが明らかになった。冬期の 1 周期が 24 時間の周期性は、温度の影響ではなく、キュウリの生体反応のリズムを反映した結果であることが実証された。

Fig.4(c)の冬期の場合、N=3, 4, 5 の相関係数が有意に近い値になっている。この理由は、Fig.5(a)の冬期の結果から、午前 0 時から午前 6 時にかけて、ガス濃度の約 6 時間(N=4) 周期が原因と考えられる。

また冬期の場合、午前 2 時から午前 5 時にかけて急激にガス濃度が増加している。これは、太陽からの光を有効に利用するために、植物が日の出を予測して夜明け前から光合成の準備を始めるという報告[14]と定性的に一致している可能性がある。

本論文の結論として、我々はキュウリ切片を作成した時刻の違いによって、放出ガス濃度が異なること、また放出ガス濃度の日内変動に周期性があることを発見した。放出ガス濃度の日内変動の周期性は季節の違いによって異なり、夏期は 1 周期が 6 時間、冬期は 1 周期が 24 時間の周期性であった。

植物の生体反応のリズムの季節依存性のさらなる研究によって、有効な害虫対策の発展に寄与する可能性がある。

本研究は坂本ハイパーテック・プロジェクト (Sakamoto Hyper-tech Project : SHyP) として、(株) アクアヴィジョン・アカデミー (代表取締役 坂本政道) と国際総合研究機構 (International Research Institute : IRI) (理事長 山本幹男) の共同研究として行われた。

参考文献

- [1] McClung C.R. : The genetics of plant clocks. Burlington: Academic Press, 74:105-139, 2011.
- [2] Goodspeed D., Chehab E.W., Min-Venditti A., Braam J. & Covington M.F. : Arabidopsis synchronizes jasmonate-mediated defense with insect circadian behavior. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 109: 4674-4677, 2012.
- [3] Danielle Goodspeed D., Liu J.D., E. Chehab E.W., Sheng Z., Francisco M. & Kliebenstein D.J., Braam J. : Postharvest Circadian Entrainment Enhances Crop Pest Resistance and Phytochemical Cycling. Current Biology, 23(13): 1235-1241, 2013.
- [4] Endo M., Shimizu H., Maria A., Nohales M.A., Takashi Araki., Steve A. & Kay S.A. : Tissue-specific clocks in Arabidopsis show asymmetric coupling. Nature, 515(7527): 419-422, 2014.
- [5] Kokubo H., Takagi O. & Koyama S. : Application of a gas measurement method - Measurement of ki fields and non-contact healing - . J. Intl. Soc. Life Info. Sci. 28(1): 95-112, 2010.
- [6] Kokubo H. & Yamamoto M. : Controlled healing power and ways of non-contact healing. J. Intl. Soc. Life Info. Sci., 27(1): 90-105, 2009.
- [7] Kokubo H., Takagi O., Koyama S. & Yamamoto M. : Discussion of an approximated equation for special distribution of controlled healing power around a human body. J. Intl. Soc. Life Info. Sci., 29(1): 23-34, 2011.
- [8] Kokubo H. : Ki or Psi - Anomalous Remote Effects of Mind-Body System. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2015. ISBN-10: 1634829549.
- [9] Takagi O., Sakamoto M., Kokubo H., Yoichi H., Kawano K. & Yamamoto M. : Meditator' s non-contact effect on cucumbers. Int. J. Phys. Sci., 8(15): 647-651, 2013. Doi: 10.5897/IJPS2012.3800.
- [10] Takagi O., Sakamoto M., Yoichi H., Kokubo H., Kawano K. & Yamamoto M. : Discovery of an anomalous non-contact effect with a pyramidal structure. ijSciences., 4(5): 42-51, 2015. Doi: 10.18483/ijSci.714.
- [11] Takagi O., Sakamoto M., Yoichi H., Kokubo H., Kawano K. & Yamamoto M. : An unknown force awakened by a pyramidal structure. ijSciences., 5(6): 45-56, 2016. Doi: 10.18483/ijSci.1038.
- [12] Hatanaka A. : The biogeneration of green odor by green leaves. Phytochemistry, 34: 1201-1218, 1993.
- [13] Hatanaka A. : The fresh green odor emitted by plants. Food Rev. Int., 12: 303-350, 1996.
- [14] Young M.W. & Kay S.A. : Time zones: A comparative genetics of circadian clocks. Nat. Rev. Genet., 2: 702-715, 2001.

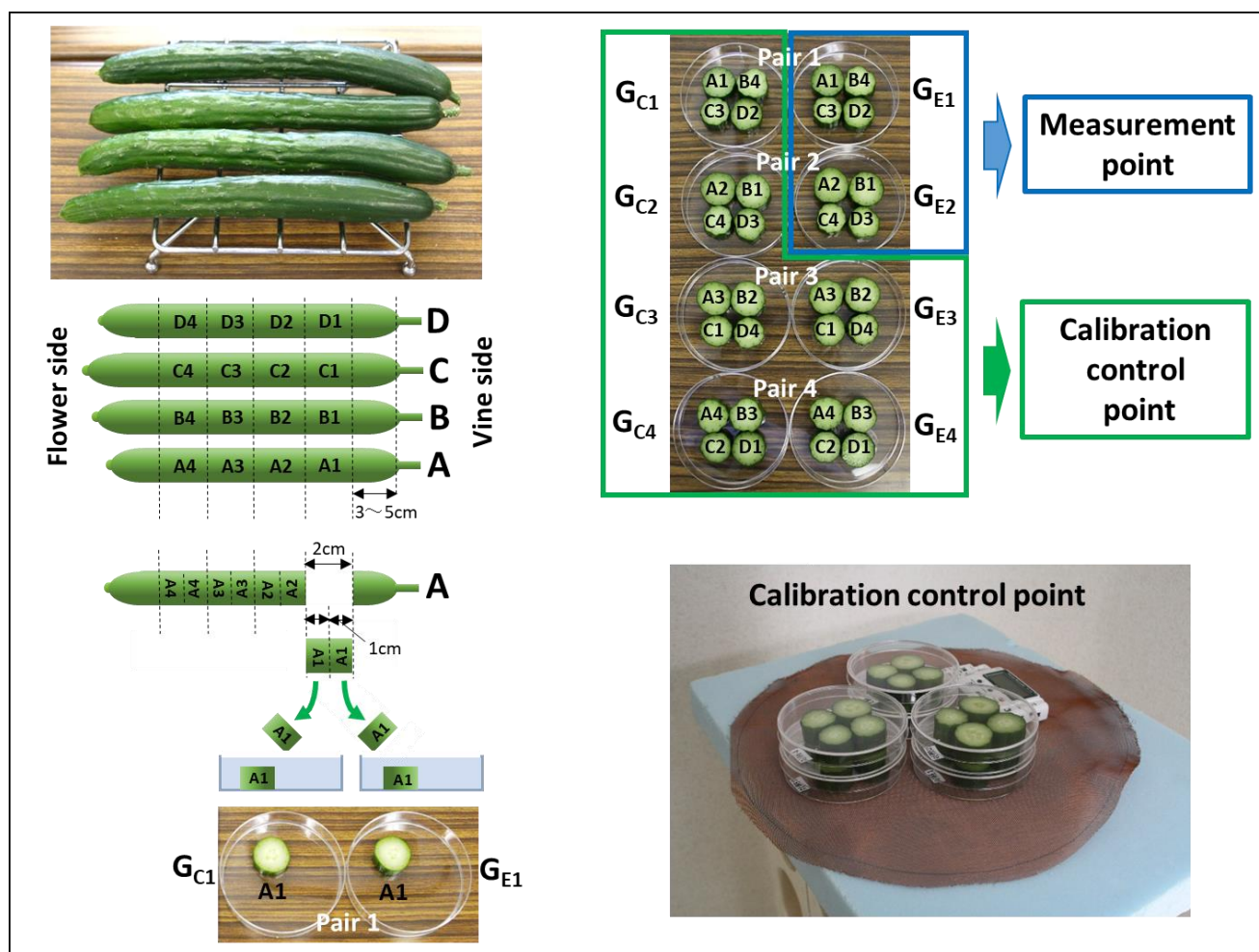


Fig.1 SCAT による試料作成

SCAT 実験の 1 セット (最小実験単位) は、キュウリを 4 本、ペトリ皿 8 個を使用する。キュウリ 1 本から長さ 2cm の試料を 4 個切り出し、さらに半分に切断したキュウリを別々のペトリ皿に置き、ペア試料を用意する (ペア 1 ~ ペア 4)。キュウリ個体のばらつきによる影響を排除するため、各ペトリ皿に 4 本のキュウリから各 1 個ずつ、計 4 個のキュウリ切片を置き、メインサンプル (ペア 1、ペア 2) 及びコントロールサンプル (ペア 3、ペア 4) を作成する。ペアどうしのキュウリ切片の表面は同一の切断面であり、G_E の面は蔓側、G_C の面は花側である。メインサンプルの G_{E1}, G_{E2} の 2 個のペトリ皿は測定ポイントに設置する。メインサンプルの G_{C1}, G_{C2} 及びコントロールサンプル G_{E3}, G_{C3}, G_{E4}, G_{C4} の 6 個ペトリ皿は 2 個ずつ重ねて測定ポイントから充分離れた校正基準点に設置する。

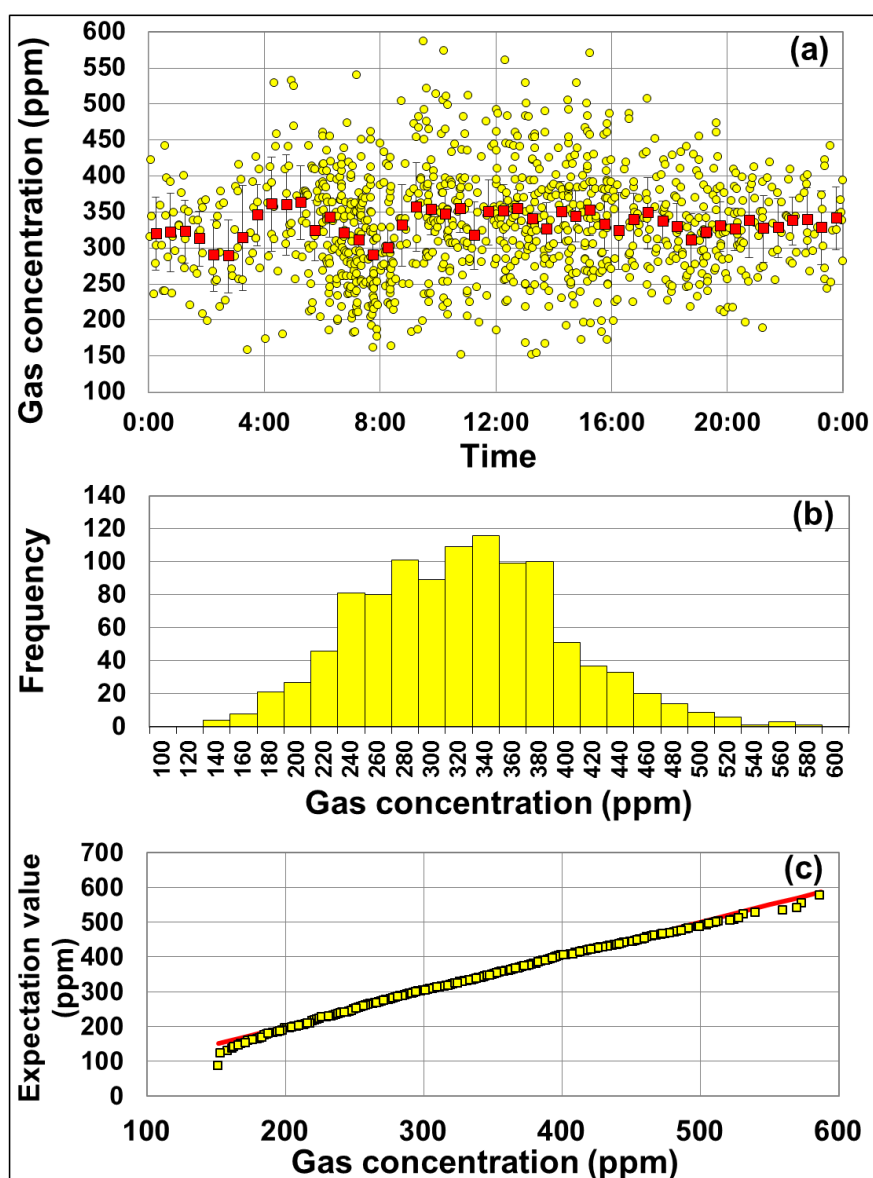


Fig.2 測定ガス濃度及びデータの正規性

Fig.2(a):縦軸が校正基準点に設置された6個の試料のガス濃度($G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4}$)/6 ($n=1056$)。横軸はキュウリを切片化した時刻で 0 時から 24 時までの 24 時間。黄色丸●がガス濃度($G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4}$)/6 ($n=1056$)。赤色四角■は 24 時間を 30 分毎に時間を区切り、その区間内にあるデータの平均値 ($n=48$)。誤差棒は 99%信頼区間。ガス濃度の全平均値は 332.2 ppm ($n=1056$)。

Fig.2(b) : Fig.2(a)で示したガス濃度($G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4}$)/6 のヒストグラム ($n=1056$)。横軸数値は中央値。

Fig.2(c) : ガス濃度の正規性検定。赤線は傾き 1 の直線。帰無仮説として、標本分布が正規分布に従うと仮定した場合、コルモゴロフ=スミルノフ検定の結果は、 $p=0.0643$ 。

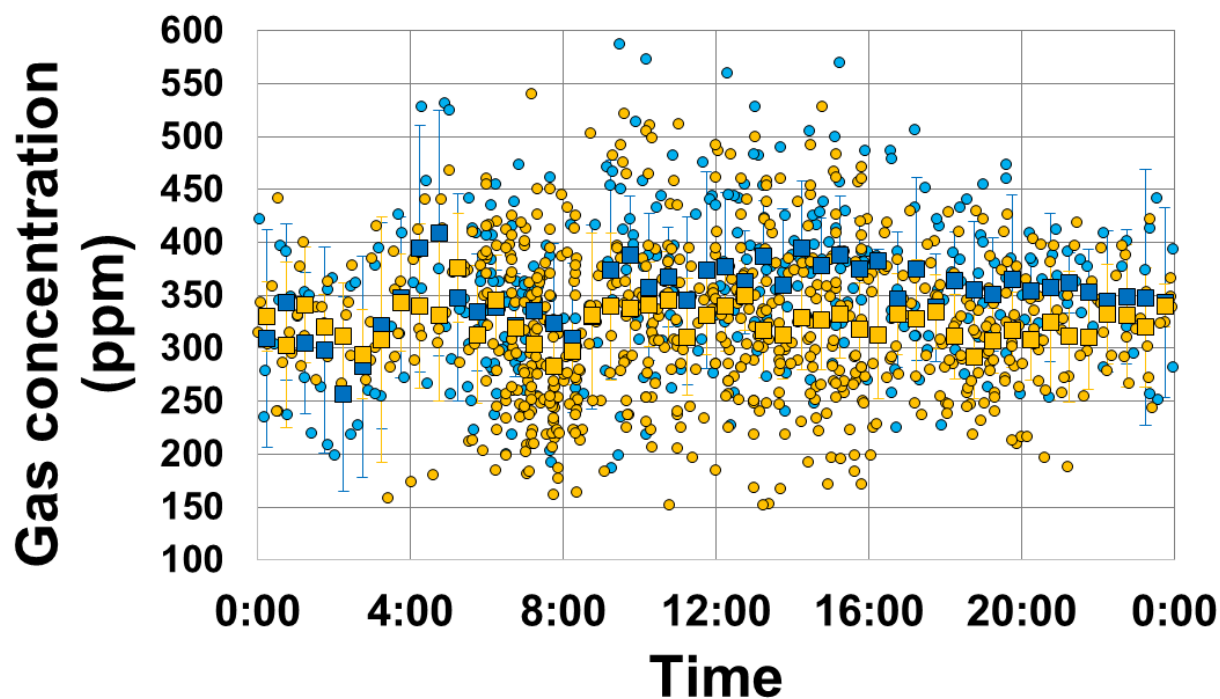


Fig.3 ガス濃度：夏データ (n=693) 及び冬データ (n=363)

縦軸が校正基準点に設置された 6 個の試料のガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ 。横軸は、試料を校正基準点に設置した時刻、0 時から 24 時までを示す。橙色丸●は夏データ (n=693)、青色丸●は冬データ (n=363)。橙色四角■は、24 時間を 30 分毎に時間を区切り、その区間内の夏のデータ平均 (n=48)、青色四角■は冬のデータ平均 (n=48)。誤差棒は 99%信頼区間。

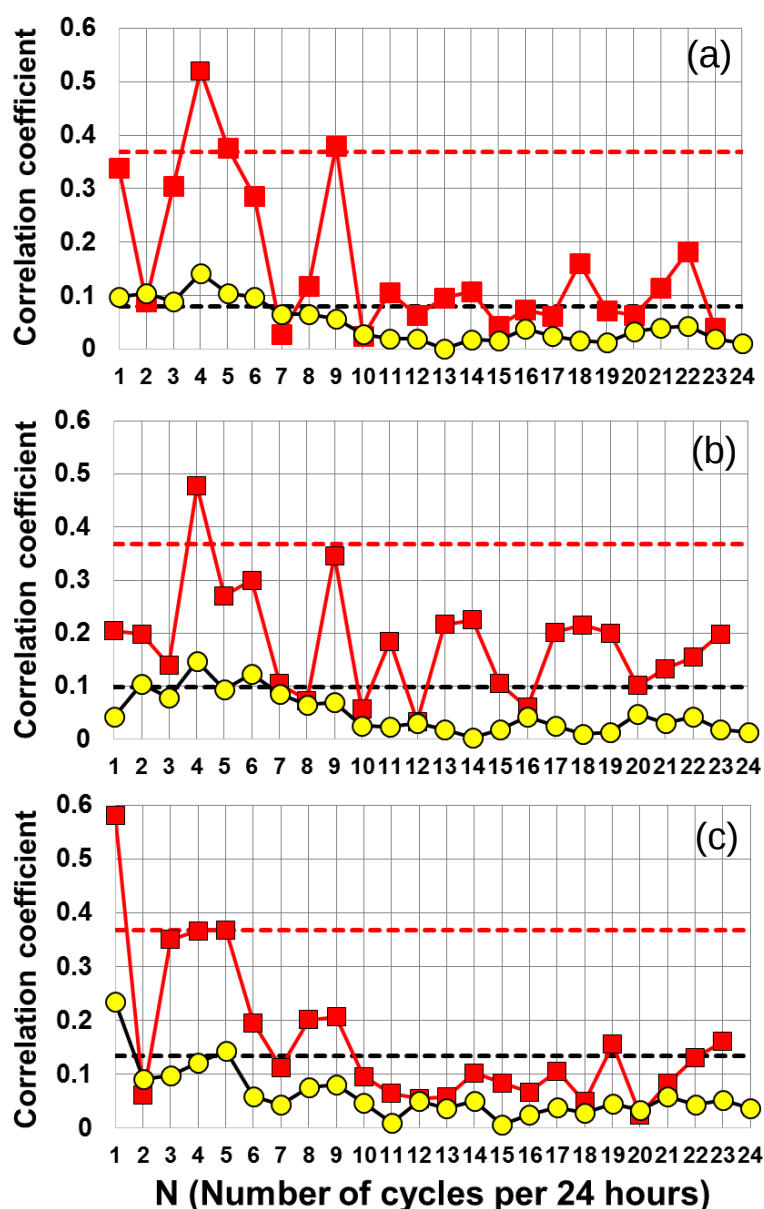


Fig.4 ガス濃度と周期近似曲線との相関係数

Fig.4(a) : ガス濃度(年間データ $n=1056$, 48)と周期近似曲線の相関係数。縦軸はガス濃度と周期近似曲線との相関係数。横軸は周期近似曲線の24時間あたりの周期数(N)。黄色丸●は、ガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ ($n=1056$)と周期近似曲線との相関係数。黒点線は、データ数が1056の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.0792)。赤四角■は Fig. 2(a)で示した、年間データの平均 ($n=48$)と周期近似曲線との相関係数。赤点線は、データ数が48の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.3683)。

Fig.4(b) : ガス濃度(夏データ $n=693$, 48)と周期近似曲線の相関係数。縦軸及び横軸は Fig.4(a)と同様である。黄色丸●は、ガス濃度 $(G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4})/6$ (夏データ $n=693$)と周期近似曲線との相関係数である。黒点線は、データ数が693の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断す

るための検定値(0.0977)。赤四角■は夏データのガス濃度(n=48)と周期近似曲線との相関係数。赤点線は、データ数が48の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.3683)。

Fig.4(c) : ガス濃度(冬データ n=363, 48)と周期近似曲線との相関係数。縦軸及び横軸はFig. 4(a)と同様である。黄色丸●は、ガス濃度($G_{C1}+G_{C2}+G_{E3}+G_{C3}+G_{E4}+G_{C4}$)/6 (冬データ n=363)と周期近似曲線との相関係数である。黒点線は、データ数が363の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.1350)。赤四角■は24時間を30分毎に時間を区切り、その区間の冬データのガス濃度(n=48)と周期近似曲線との相関係数。赤点線は、データ数が48の時、1%有意を採用した場合、相関係数が有意であるかどうかを判断するための検定値(0.3683)。

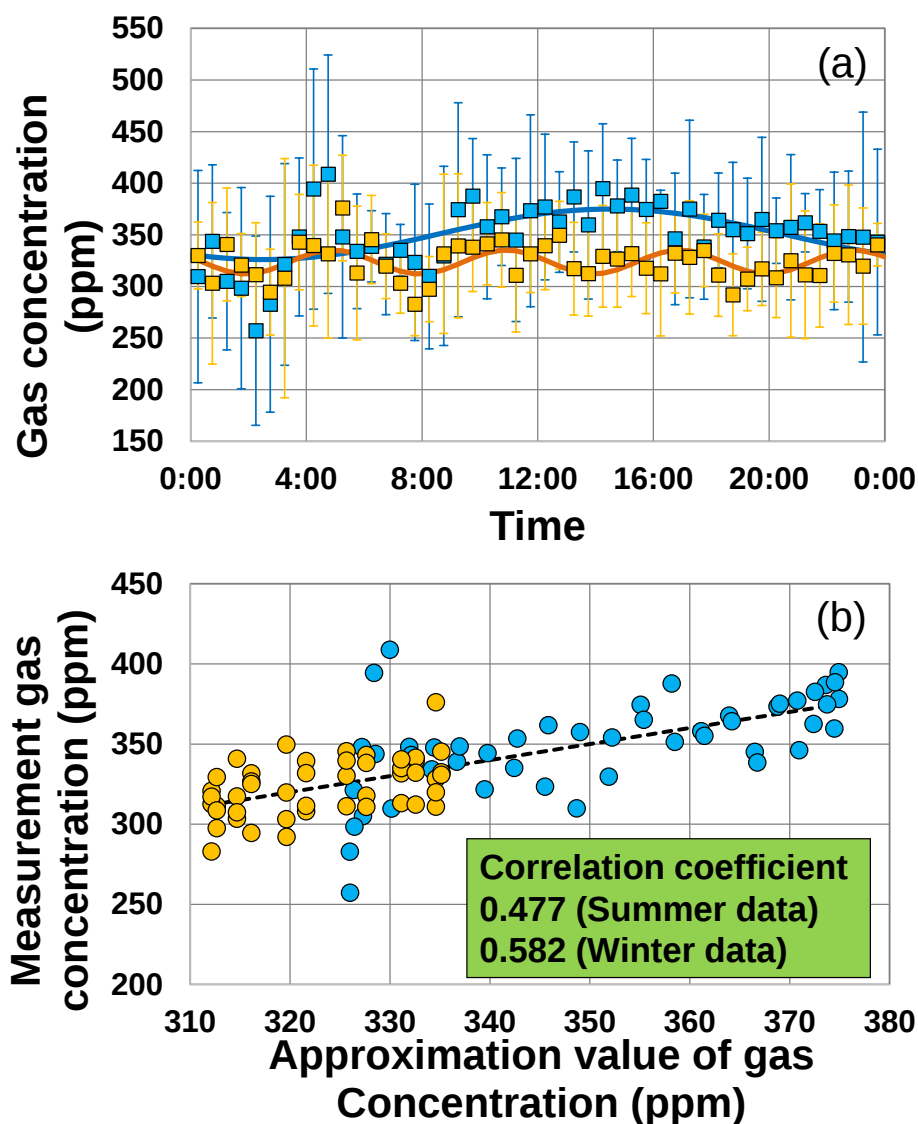


Fig.5 周期近似曲線と相関図

Fig.5(a) : 橙四角 ■ は、Fig. 3 で示した夏データのガス濃度。橙曲線は、1 周期が 6 時間の周期近似曲線 ($a=323.64$, $b=-10.58$, $c=4.93$)。青四角 ■ は、Fig. 3 で示した冬データのガス濃度。青曲線は、1 周期が 24 時間の周期近似曲線 ($a=350.48$, $b=-15.06$, $c=-19.36$)。誤差棒は 99%信頼区間である。

Fig.5(b) : 夏期および冬期のガス濃度 ($n=48$) と周期近似曲線の近似値の相関図。縦軸は測定したガス濃度、横軸は、1 周期が 6 時間(夏期)と 24 時間(冬期)の周期近似曲線の近似値。夏データ (橙丸 ●) の場合、相関係数が 0.477、冬データ (青丸 ●) の場合、相関係数が 0.582。