愛知教育大学研究報告，50（芸術・保健体育・家政・技術科学・創作編），pp. 7～13, March, 2001

胃小腸電図による動揺病に関する基礎的研究

桜木惣吉

養護教育講座

A Fundamental Study of Motion Sickness by means of Electrogastroenterography

Sokichi SAKURAGI

Department of School Nursing and Health Education, Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448-8542 Japan

I. はじめに

動揺病とは乗物酔いのことであり，視覚・前庭感覚などの各感覚入力間で混乱が生じたときに引き起こされると考えられている。自動車・列車・船舶・航空機など加速度の大きい乗り物に乗っているときに発症するため，加速度病とも呼ばれている。主な症状は眩暈や悪心・嘔吐であり，その他に顔面蒼白，冷汗，唾液分泌亢進などの自律神経症状を伴う。また，静止状態でも大型スクリーンや回転ドラムなどにより自己運動感を生じさせるような視覚刺激を与え視覚入力を混乱させると，悪心・嘔吐などの動揺病症状を来すことが知られている[8)16)]。しかし，この視覚入力の混乱による悪心・嘔吐と動揺病の悪心・嘔吐に何らかの違いがあるのか，視覚は動揺病の発症にどのように影響しているのか，については必ずしも明らかではない。

胃や小腸には心臓と同じように pace maker が存在し，周期的な電位変化が起こっていることが知られている[1)2)]。Electrogastroenterography（以下，EGEG；胃小腸電図）は，この電位変化を腹壁上から経皮的に記録したものである。EGEG の解析により消化管自律神経機能を反映した指標をとらえることができることが示されている[9)-11)]。

そこで我々は視覚刺激と前庭刺激を別々にあるいは同時に与え，その間の EGEG を記録・解析することにより，消化管自律神経機能の点から視覚入力の混乱による悪心・嘔吐と動揺病の悪心・嘔吐の違い，動揺病の発症における視覚入力の影響について考察した。

II. 対象と方法

視覚および平衡感覚に障害のない健康な女子学生12名（21～22歳）を対象に，視覚刺激，前庭刺激，視覚・前庭同時刺激について刺激前10分間，刺激中（5分間），刺激後10分間の EGEG を記録し，自覚症状についても報告させた。

実験は，名古屋大学環境医学研究所内の前庭機能検査室において行った。また，実験前2時間は絶飲食とした。

視覚刺激はランダムドットパターンによる視運動性刺激を直径1.5mの半球状のドーム内面に左右方向の視角140°の範囲に投影することにより与えた。ランダムドットパターンの移動速度は70°/sec で下方から上方とし，またより強く感覚入力の混乱を引き起こすためにドーム全体を0.1Hzで左右に45°ずつ動かした。また，視運動性刺激による眼球運動を抑制するために被験者にドームの中心を固視させた。

前庭刺激は，被験者の座っている回転椅子を左右に15°ずつ0.5Hzの速度で正弦波状に動かしながら，被験者には0.5Hzの速度で首を10°ずつ上下に動かすように指示することにより与えた。これは耳石系と半規管系の混乱を引き起こすためである。また，視覚入力を遮断するために閉眼させた。

視覚・前庭同時刺激は視覚刺激と前庭刺激を組み合わせたもので被験者には開眼させてドームの中心を固視させ首を上下に動かすよう指示した。

実験はすべて回転椅子上での座位で行った。動揺病誘発実験においては慣れの影響があることが知られているので[3)6)]，各刺激を与える順序は慣れの影響を無くすためにランダムにした。刺激後10分間の記録時に気分は概ね回復したが，回復しない場合はさらに数分間の安静期間をとってから次の刺激に移った。この間に自覚症状についての問診を行った。実際の EGEG 記録手順は以下のとおりである。刺激前10分間→刺激1（5分間）→刺激1後10分間→刺激2（5分間）→刺激2後10分間→刺激3（5分間）→刺激3後10分間。なお，分析は，5分ごとの計11の実験ステージに分けて行っ

表1． 動揺病診断表（Graybiel の診断表を参考に改訂）

	10 点	6 点	4 点	2 点	1 点
悪心・嘔吐	重症悪心・嘔吐	中等度悪心	軽症悪心	腹部不快感	
眩暈・浮遊感			重 症	中等度	軽 症
顔面蒼白		重 症	中等度	軽 症	フラッシング
冷 汗		重 症	中等度	軽 症	
唾液分泌亢進		重 症	中等度	軽 症	
意識レベルの低下					気持ちよい 眠 い ボッーとする
頭 痛			重 症	中等度	軽 症

た。

自覚症状については，悪心・嘔吐のレベルを1（何ともない）～5（吐く）の5段階の数値により口述させるとともに，Graybiel の動揺病診断表[5]をもとに本実験用に改訂した診断表（表1）により問診を行い点数化した。自覚症状 Score は各5分間の実験ステージで見られた症状の動揺病診断表（表1）による点数の合計である。

EGEG の記録電極は，胃電図用として臍上1cmと正中より6cm離れた左季肋部に，また小腸電図用として臍下2cmで2cm右側の点とこの点より5cm右側の点に装着し，双極誘導にて導出し増幅した。フィルターの設定は，胃電図は time constant 3.0秒，high-cut 0.1 Hz，小腸電図は time constant 1.5秒，high-cut 0.2Hz とした。皮膚―電極間抵抗は2kΩ以下とした。

EGEG の解析は，データレコーダーに記録された活動を，金桶ら[9]のプログラムを用いてシグナルプロセッサにより各5分間の実験ステージの内の256秒を連続して fast Fourier transform（FFT）解析し，running power spectrum analysis を行った。また，2.11―4.45cpm (cycle per minute) の power products（電位と各周波数帯の頻度の積）を正常な胃の電気活動，7.50―12.19cpmの power products を正常な小腸の電気活動として256秒ごとに計算し，各刺激による経時変化を検討した。この際，power products の値は変動が激しく個人差も大きいので対数変換（自然対数）し，刺激前値1（刺激前10分間の最初の5分）と刺激前値2（刺激前10分間の後の5分）の平均を100%とした時の相対値と合わせて統計学的検討を行った。

III. 結　　果

図1に胃電図および小腸電図の原波形と FFT による power spectrum の1例を示す。胃電図では胃の電気活動に由来する3cpm 前後の活動が明瞭に認められ，小腸電図では小腸の電気活動に由来すると考えられる11～12cpm に peak を認める。

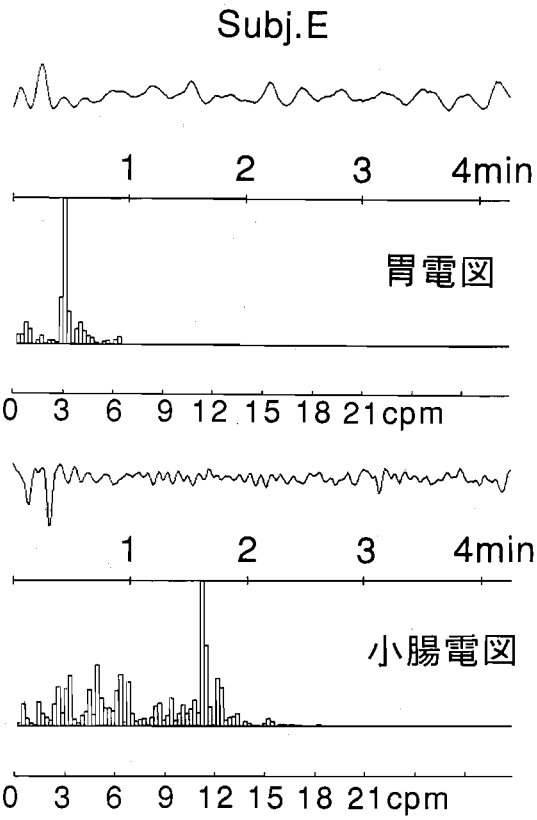

図1 1人の被験者から得られた EGEG の原波形と FFT による power spectrum の1例を示す。

図2に胃電図の running power spectrum analysis の結果2例を刺激条件および自覚症状 Score とあわせて示す。横線1本が各実験ステージに対応する。矢印は経過時間を示す。左端の数字は各実験ステージの自覚症状 Score である。刺激前の実験ステージについては自覚症状 Score は記載していない。各刺激時に power が減少し，刺激後に power が回復しているのがわかる。また，自覚症状の Score が高いと power が減少し，Score が低いと power が増加する傾向に

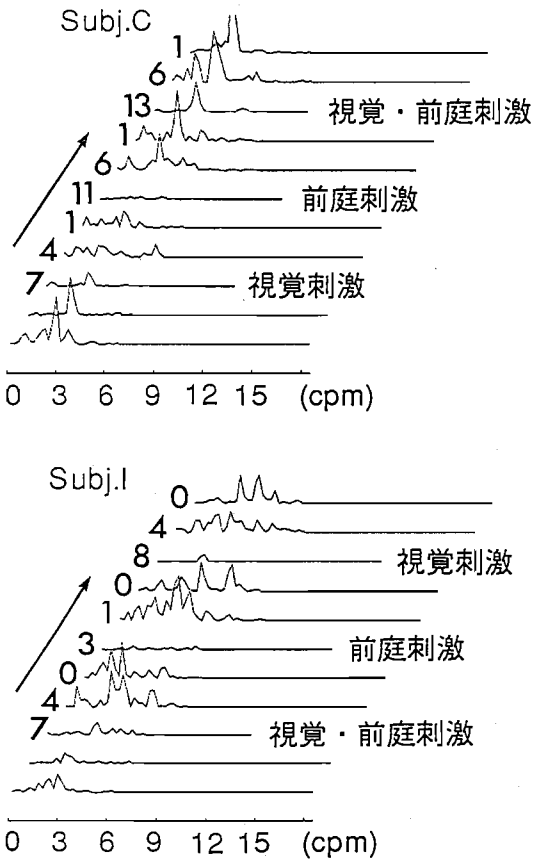

図 2 胃電図の各刺激による変化の例を runnning power spectrum analysis により示す。

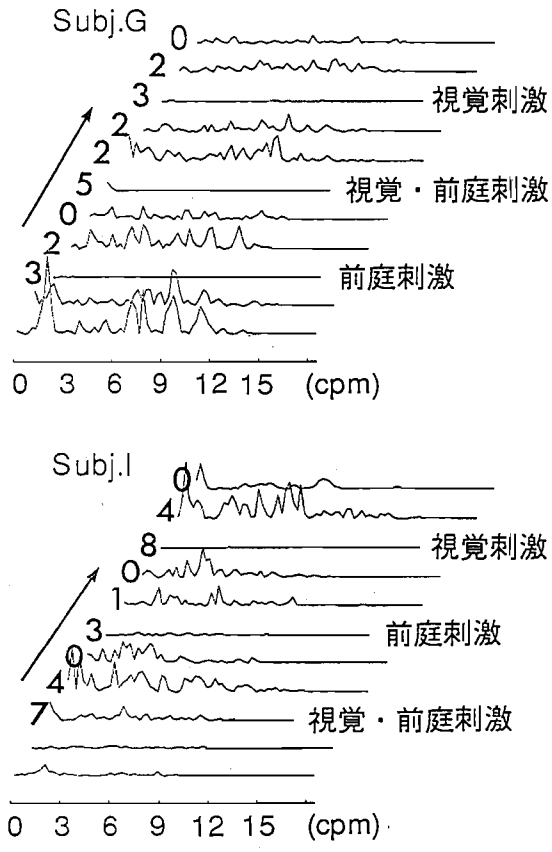

図 3 小腸電図の各刺激による変化の例を runnning power spectrum analysis により示す。

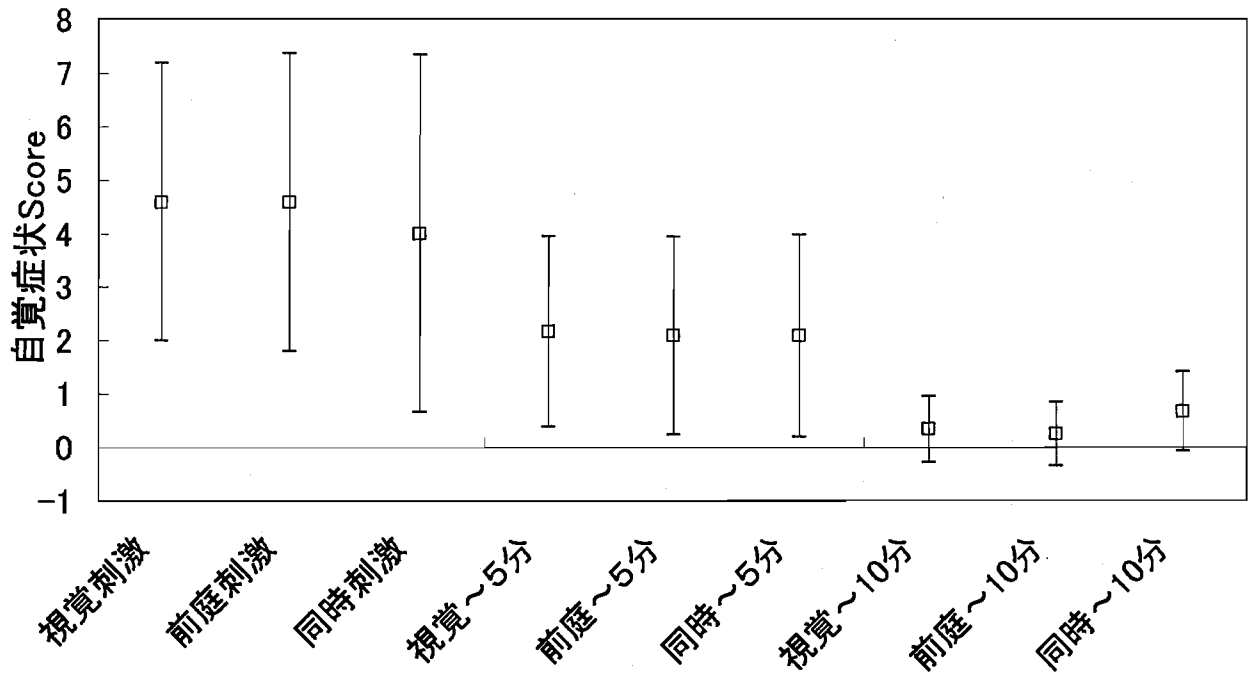

図 4 自覚症状 score の刺激中および刺激後の変化を示す。各〜5分は各刺激直後から5分後までの自覚症状 score，各〜10分は各刺激5分後から10分後までの自覚症状 score を示す。

ある。

図3に小腸電図の running power spectrum analysis の結果2例を刺激条件および自覚症状 Score とあわせて示す。胃電図と比べると power spectrum は多

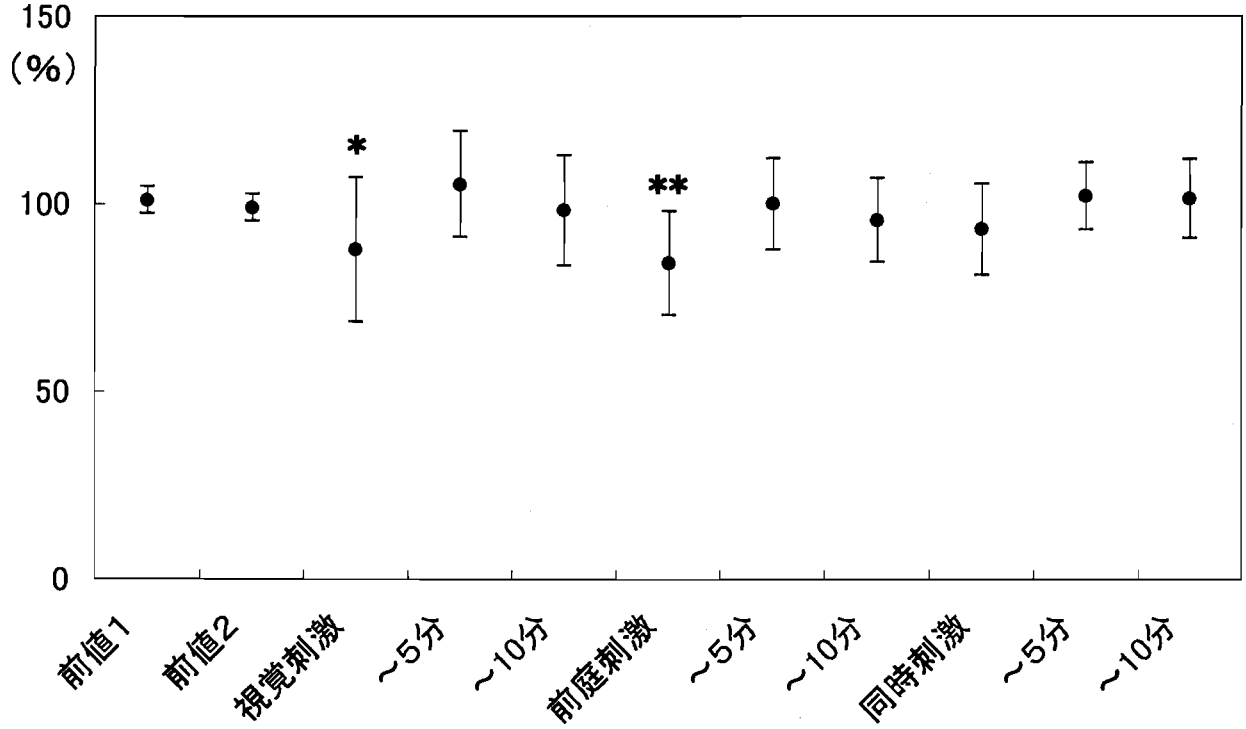

図5 正常な胃の電気活動に相当する power products (2.11—4.45cpm) の対数の相対値の各実験ステージにおける変化。最小有意差法による刺激前値1および刺激前値2との検定。＊P＜0.05, ＊＊P＜0.01

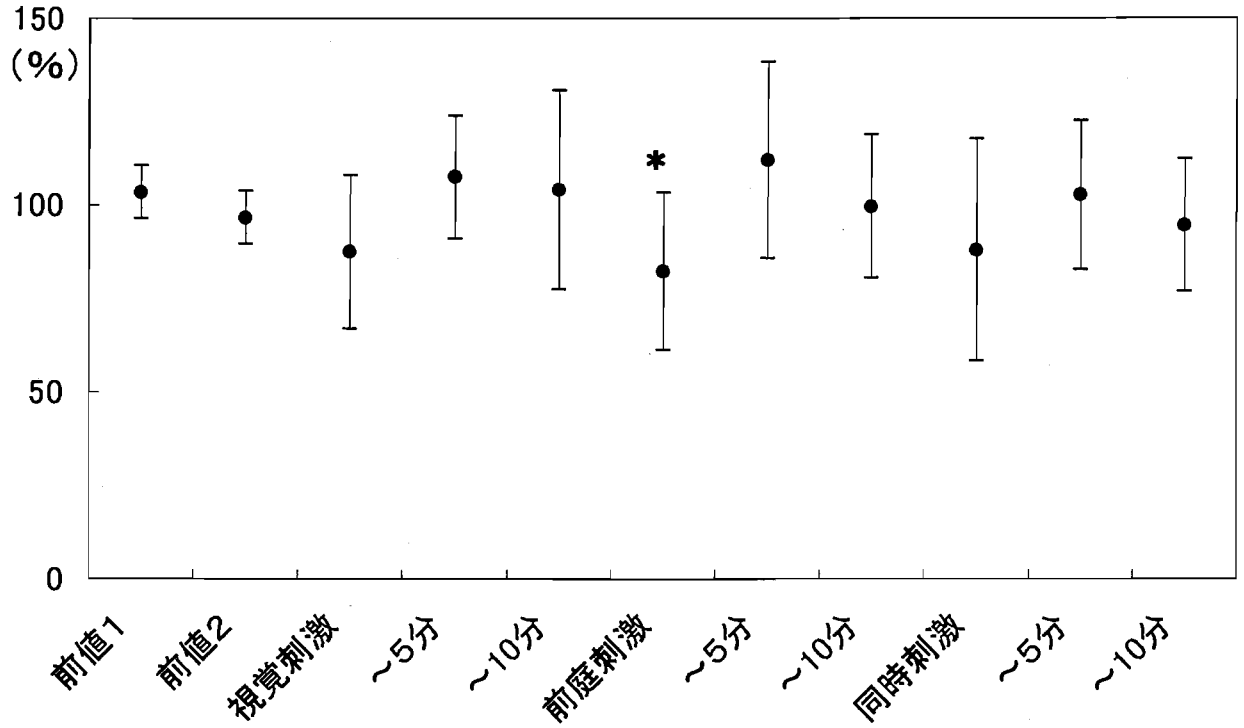

図6 正常な小腸の電気活動に相当する power products (7.50—12.19cpm) の対数の相対値の各実験ステージにおける変化。最小有意差法による刺激前値1との検定。＊P＜0.05

峰性でありバラツキが大きい。胃電図と同様に各刺激時に power が減少し，刺激後に power が回復しているのがわかる。また，自覚症状 Score が高いと power が減少し，Score が低いと power が増加する傾向にある。

図2と図3の下段は同一被験者の胃および小腸電図の running power spectrum analysis の結果であるが，胃電図と小腸電図の power spectrum の変化の時間経過はほぼ一致している。

図4に自覚症状 Score の刺激中，刺激後0～5分，刺激後5～10分の変化を示す。自覚症状 Score は刺激中→刺激後0～5分→刺激後5～10分と有意に低下し

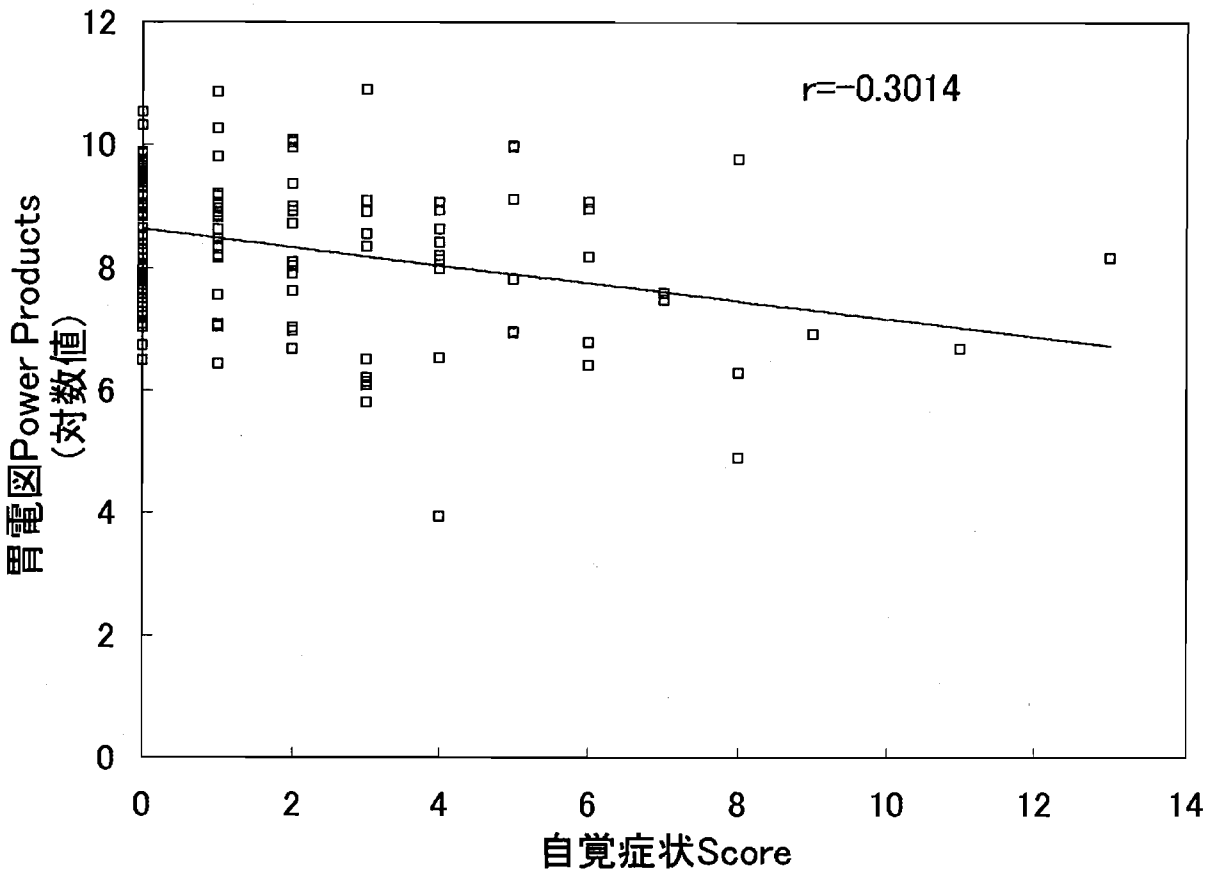

図7 全被験者の正常な胃の電気活動に相当する power products (2.11—4.45cpm) の対数と自覚症状 Score の相関を示す。症状の増加に伴い正常な胃の電気活動は減少している。

ていくが，刺激の種類の違いによる自覚症状 Score の差は見られない。

図5に各実験ステージにおける，正常な胃の電気活動に相当する power products (2.11—4.45cpm) の対数の相対値の全被験者についての平均と標準偏差を示す。各実験ステージを因子とした分散分析では，P値は0.0017で1％の水準で有意である。また，最小有意差法による多重比較検定では，刺激前値1および2との比較では視覚刺激中は5％の水準で，前庭刺激中は1％の水準で有意に低い。視覚・前庭同時刺激中とは有意差は見られない。

図6に各実験ステージにおける，正常な小腸の電気活動に相当する power products (7.50—12.19cpm) の対数の相対値の全被験者についての平均と標準偏差を示す。各実験ステージを因子とした分散分析では，P値は0.0195で5％の水準で有意である。しかし，最小有意差法による多重比較検定では，刺激前値1および2との比較では，刺激前値1と前庭刺激中に5％の水準で，有意差が認められるのみである。

図7に全被験者についての正常な胃の電気活動に相当する power products の対数と自覚症状 Score の相関図を示す。相関係数 r＝−0.3014，P値＝0.0004であり，正常な胃の電気活動に相当する power products の対数と自覚症状 Score の間には1％の水準で有意に負の相関がある。

図8に全被験者についての正常な小腸の電気活動に相当する power products の対数と自覚症状 Score の相関図を示す。相関係数 r＝−0.2541，P値＝0.0033であり，正常な小腸の電気活動に相当する power products の対数と自覚症状 Score の間には1％の水準で有意に負の相関がある。

IV. 考　　察

奥野ら[14)15)]は糖尿病性自律神経障害患者では胃電図で3 cpm 前後の波が減少し，tachygastria（3 cpm 前後の波が減少し4—9 cpm の波が優位になること）や bradygastria（3 cpm 前後の波が減少し1—2 cpm の波が優位になること）を認めること，Non-ulcer dyspepsia（消化管の諸検査で異常を認めないが食後に嘔気を訴える）では食後の嘔気時に不規則な tachygastria を認めること，などを報告している。また，Geldof H ら[4)]や You CH ら[17)]も予期せずに嘔気や嘔吐を来す患者では胃電図で3 cpm 前後の波が減少し，tachygastria や tachyarrhythmia（5 cpm 以上で間隔が不整な波が優位になること）を認めるとしている。本実験では被験者全員から刺激前の胃電図記録で3 cpm を中心とした波形が得られており，上記のような消化管自律神経機能障害はなかったと考えられる。

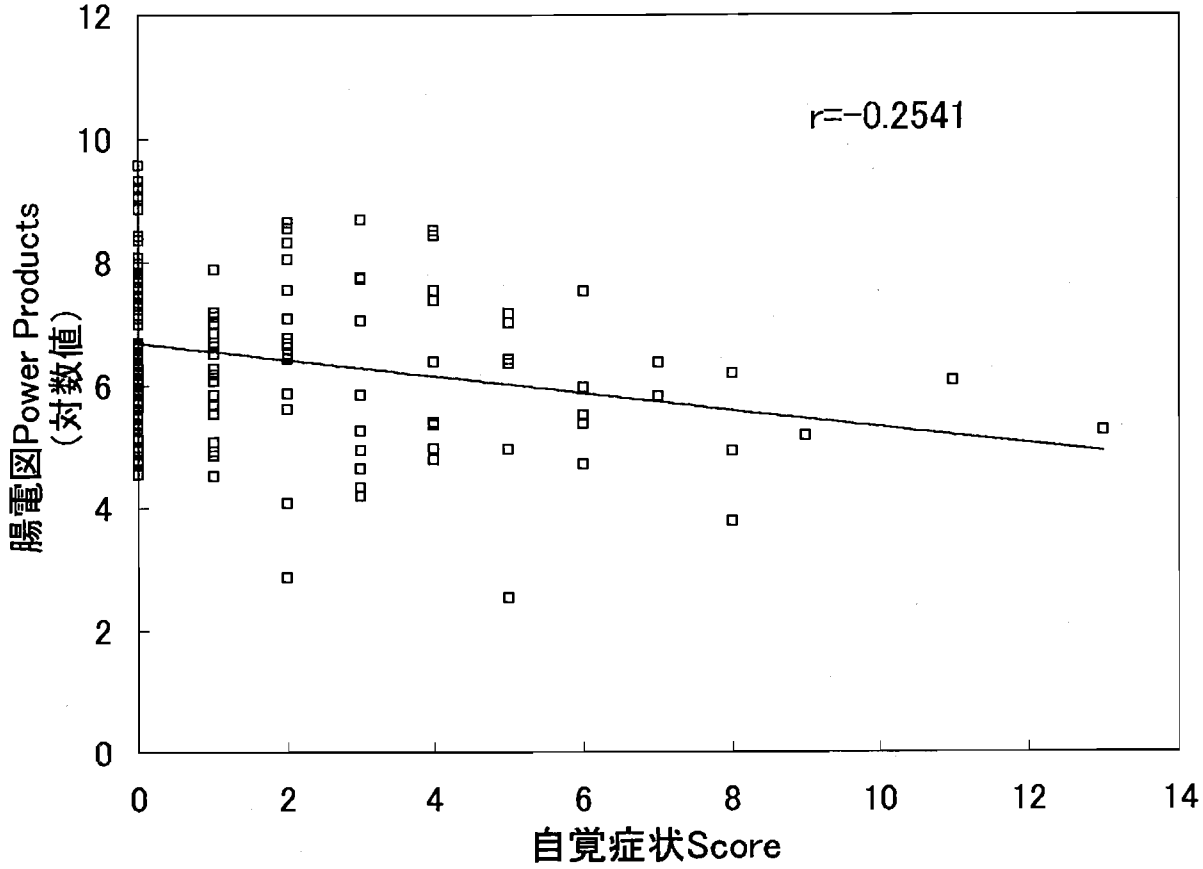

図 8 全被験者の正常な小腸の電気活動に相当する power products（7.50—12.19cpm）の対数と自覚症状 Score の相関を示す。症状の増加に伴い正常な小腸の電気活動は減少している。

長谷川[7]は，迷路に加速度が働いて生じた迷路興奮が交感神経性自律神経失調を惹起することが，乗り物酔いの本態であると報告している。また，望月[12]は，迷路刺激により犬の胃平滑筋筋電図活動が抑制されたことを報告し交感神経緊張性の自律神経遮断現象であるとしている。本実験でも，前庭刺激により胃の電気活動の低下を認めており，これらの報告と一致した所見と考えられる。

一方 Stern RM ら[16]は circular vection drum による視運動性刺激により自己運動感を誘発し，その間の胃電図を記録しているが，それによると，視運動性刺激により動揺病症状が生じた被験者では胃電図で tachygastria を認め，動揺病症状が生じなかった被験者では胃電図で 3 cpm 前後の波の減少を認めたが tachygastria は認めなかったとしている。また，Hu S ら[8]は動揺病症状が強いと胃電図で tachyarrhythmia 心電図で心拍変動の減少を認め，交感神経活動の亢進と副交感神経活動の低下に伴う自律神経系のアンバランスが動揺病症状と深く関係しているとしている。本実験では動揺病症状が生じた被験者でも胃電図で 3 cpm 前後の波の減少は認めたが tachygastria や tachyarrhythmia は明瞭ではなかった。この相違は，本実験の刺激時間が 5 分間と短く動揺病症状も軽度であったことによるかもしれない（Stern RM らは15分間，Hu S らは16分間視運動性刺激を与えており動揺病症状も本実験よりかなり強い）。

視覚刺激は，身体を静止した状態で与えるのに対し，前庭刺激では身体を揺り動かすため身体の動きに伴うノイズの EGEG への混入が予想されたが，視覚刺激でも前庭刺激時と同様の変化が EGEG 上に見られたこと，自覚症状と EGEG に相関が見られたことなどより身体の動きの EGEG への影響はわずかであったと考えられる。また，胃電図上で見られた変化は，消化管が物理的に揺り動かされたことによるのではなく，感覚入力の混乱に基づく自律神経系の変化によるものと推測される。

視覚・前庭同時刺激では，視覚，前庭の単独刺激より重い症状を示し，EGEG 上の変化も大きいことが予想されたが，自覚症状 score は単独刺激と比べて有意差はなく，EGEG 上の変化は単独刺激より小さかった。問診により同時刺激中の様子を詳しく聞くと，パターンの動きと身体の動きが一致するときはそれほど気分は悪くないが，一致しないときは気分が悪くなると答えるものが多かった。このことから，パターンの動きと身体の動きが一致するときは前庭刺激による混乱が視覚情報により補正され，一致しないときは前庭刺激による混乱が視覚情報によりさらに助長されることが示唆される。これらのことを日常生活に置き換え

ると，電車やバスなどの乗り物の中で窓から遠くの景色を見ているときや実際に乗り物を運転しているときが前者に相当し，乗り物の中で本などを読んでいるときが後者に相当すると考えられる。実際，窓から遠くの景色を見ているときや実際に乗り物を運転しているときは酔いにくく，乗り物の中で本などを読んでいるときに酔いやすいのはよく経験するところである。以上のことから乗り物の揺れによる前庭系の混乱は自分の位置に対する正しい視覚情報によって補正され動揺病の症状も軽減されると考えられる。

自覚症状 score と EGEG の power products の対数値に負の相関が見られたことより，動揺病症状が強いほど交感神経系の緊張が強く EGEG 上の変化も大きかったと考えられる。Muth ER ら[13]は急なストレスにより覚醒反応が起こると，胃の電気活動が不整になり胃腸の機能障害の原因に成り得るとしている。今回の実験をストレスという点でとらえると，各刺激による感覚入力の混乱がストレスとなり，交感神経活動の亢進や副交感神経活動の低下など自律神経系のアンバランスをきたし，その結果消化管自律神経機能にも影響が及び，正常な消化管電気活動が低下したと考えられる。また，このことは EGEG が心拍数変動などとともに急性ストレス反応の指標となり得ることを示唆するものである。

V. ま　と　め

1）視覚刺激でも前庭刺激でも，あるいは視覚・前庭同時刺激でも誘発される動揺病症状に差はなかった。

2）EGEG の分析結果から，動揺病症状が強いほど正常な胃や小腸の電気活動が抑制されることが示唆された。

3）適正な視覚情報は，動揺病発生時の前庭系の混乱を抑制し，消化管自律神経機能を改善することが示唆された。

4）EGEG は，急性ストレス反応の指標となり得ることが示唆された。

引用・参考文献

1）Alvarez WC and Mahoney LJ: Action currents in stomach and intestine. Am. J. Physiol., 58: 476-493, 1922.

2）Alvarez WC: The electrogastrogram and what it shows. J.A.M.A., 78: 1116-1119, 1922.

3）Dobie TG, May JG, Dunlap WP and Anderson ME: Reduction of visually-induced motion sickness elicited by changes in illumination wavelength. Aviat. Space Environ. Med., 60: 749-754, 1989.

4）Geldof H, Van der Schee EJ, Van Blankenstein M and Grashuis JL: Electrogastrographic study of gastric myoelectrical activity in patients with unexplained nausea and vomitting. Gut, 27: 799-808, 1986.

5）Graybiel A, Wood CD, Miller EF and Cramer DB: Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness. Aerosp. Med., 39: 453-455, 1968.

6）Graybiel A and Knepton J: Prevention of motion sickness in flight maneuvers, aided by transfer of adaptation effects acquired in the laboratory: ten consecutive referrals. Aviat. Space Environ. Med., 49: 914-919, 1978.

7）長谷川高敏：動揺病．第16回日本医学会総会別刷．19-20, 1963.

8）Hu S, Grant WF, Stern RM and Koch KL: Motion sickness severity and physiological correlates during repeated exposures to a rotating optokinetic drum. Aviat. Space Environ. Med., 62: 308-314, 1991.

9）金桶吉起，小池保雄，櫻井信夫，鷲見幸彦，平山正昭，宝珠山稔，高橋　昭：Electrogastroenterography I．健常人による方法論的検討．自律神経，29：29-37，1992.

10）金桶吉起，小池保雄，櫻井信夫，鷲見幸彦，平山正昭，宝珠山稔，高橋　昭：Electrogastroenterography II．神経変性疾患への応用．自律神経，29：38-43，1992.

11）金桶吉起，小池保雄，櫻井信夫，鷲見幸彦，平山正昭，宝珠山稔，高橋　昭：Electrogastroenterography III．正常人の終夜睡眠時における胃，小腸活動の記録．自律神経，29：460-465，1992.

12）望月隆昭：迷路刺激の胃平滑筋々電図に及ぼす影響．日耳鼻，69：557-585，1966.

13）Muth ER, Koch KL, Stern RM and Thayer JF: Effects of autonomic nervous system manipulations on gastric myoelectrical activity and emotional responses in healthy human subjects. Psychosomatic Med., 61: 297-303, 1999.

14）奥野　洋，本郷道夫，氏家裕明，山田昌彦，西村成夫，上野正道，豊田隆謙：経皮的胃電気活動記録(Electrogastrography：EGG)に対する食事負荷の影響．日本平滑筋誌．25：178-181，1989.

15）奥野　洋，本郷道夫，山田昌彦，西村成夫，上野正道，豊田隆謙：糖尿病性自律神経障害者の Electrogastrography (EGG)．自律神経，27：534-540，1990

16）Stern RM, Koch KL, Stewart WR and Lindblad IM: Spectral analysis of tachygastria recorded during motion sickness. Gastroenterology, 92: 92-97, 1987.

17）You CH, Lee KY, Chey WY and Menguy R: Electrogastrographic study of patients with unexplained nausea, bloating, and vomiting. Gastroenterology, 79: 311-314, 1980.

(平成12年9月4日受理)