

各種動物の脳波の温度による影響について

昭和32年6月13日受付

信州大学医学部生理学教室 (指導: 和合教授)

島 村 宗 夫

一般に化学反応速度は温度と共に変わり、Arrheniusの法則に従うことが知られている。脳波の場合もその脳温を変えると、振幅・周期が変わることが認められ、この脳波の変化を通じて脳細胞における化学変化の過程を観おうとする多くの試みがなされてきた。例えば摘出蛙脳(Libet & Gerard^①), 白鼠(Ten Cate^②), 家兎(Kornmüller^③), 萱嶋及び只埜^④), 猫(Bremer^⑤), 人間(Hoagland^⑥, Jasper^⑦, Jasper & Andrews^⑧, Ichinose^⑨, Teschen & Gelhorn^⑩, Lin, Jsung-Yi^⑪, Horikawa^⑫)等を対象として研究が行われているが、その成績は実験者により、また実験対象によつて必ずしも一致しない。或いはArrheniusの法則があてはまるといふ、或いはあてはまらぬという。

そこで著者は、この間の事情をさらに究明しようとして、下等動物から高等動物に至る、4綱、12属の動物について、温度の脳波に及ぼす影響を比較検討し、とくに脳波エネルギーの観点からArrheniusの法則との関連を追究した。

実験材料及び実験方法

実験材料は蚕、バツタ、コオロギ、蛙、イモリ、蓼、雀、山鳩、鶏、家兎、猫、犬の12種類で前報^⑬と同じ動物を使用した。

また実験条件も夫々の動物の自然の行動をなるべく束縛しないようにして、視覚脳波を誘導する方法、その他脳波装置等も前報の通りである。たゞ今度の実験では動物の脳温を変える必要があり、そのために次のような処置を講じた。

蚕、バツタ、コオロギは原紙の箱に、蛙、イモリ、蓼は浅く水を浸してある大きな硝子槽に入れて夫々全体を恒温槽内におき、恒温槽の温度を変えて動物の体温を変えるようにした。

雀、山鳩、鶏、家兎、猫、犬では総頸動脈中の血液温度を変えることによつて、間接的に脳温を変えた。詳細に言えば両側総頸動脈(雀の場合は頸部)を挟んで各々1対の超短波用の真鍮板電極を装着し、ペークライト製のコの字型の板を作つて固定した。電極の表面に絶縁塗料を塗り、長さ約2cm、幅約7mm(動物の種類によつて大きさを変えた)のものである。次に

脳温を下げる方法としては、前述の超短波電極のすぐ下に、その電極に直接触れないように絶縁物を挟んで(長径7mm、短径3mm、の断面が楕円型をなした真鍮管を曲げて血管(雀の場合は頸部全体)を3回程巻いて覆い、その両端に夫々ビニール管を接ぎ、一端は冷水貯蔵のイルリガートルに接続し、他端を開放して排水用とした。なお超短波用電極からの誘導線及びビニール管は外に導き出して皮膚を縫合閉鎖した。

山鳩、鶏、雀、家兎、猫、犬ではこのような操作が終つてから、適当な大きさの箱に入れ静かな暗室内に、また蚕、バツタ、コオロギ、蛙、イモリ、蓼では恒温槽内にいずれも2時間放置し、そのまゝの状態で行った実験を始めた。

脳波の記録は先ずこれらの動物の室温(20~24°C)におけるものを記録して正常時のものとし、続いて温度の変化を追つて脳波を記録した。その温度の変え方は次の如くである。

蚕、バツタ、コオロギ、蛙、イモリ、蓼の場合は、電熱によつて恒温槽の温度を室温から漸次上げて約30分で35°Cに到達せしめ、そこで恒温槽内に氷を入れて温度を次第に下降させて約1時間で4°Cにした。更にその温度から再び電熱で上昇させて約30分で室温にもどすようにした。なお少数例においては、上記と逆に最初温度を室温から下げ、それから35°Cまで上げて、そこから再び下げて室温に戻るよう方法を講じた。

雀、山鳩、鶏、家兎、猫、犬では超短波で先ず30分間組織に火傷のおこらぬように徐々に加熱し、総頸動脈中の血液を温め、次に総頸動脈(雀は頸部)に巻きつけてある管に、0°Cの冷水を毎分約100ccの流量で1時間循環させて冷却し、その後は操作をやめて恢復するのを待った。上記のいずれの場合にも脳波の記録は5分間隔で30秒間行つた。この際電熱或いは超短波の電源を切るようにした。

実験中の温度測定については、恒温槽或いは室温は水銀寒暖計を用い、脳温測定には銅、コンスタンタン熱電対を、何れも脳波誘導用電極に近接して、蚕、バツタ、コオロギでは直接脳に当て、蛙、イモリ、蓼では頭皮下に封入し、雀、山鳩、鶏、家兎、猫、犬では

硬脳膜上に装着し脳波の記録と共に測定した。

実験成績

実験成績は便宜上、1) 成績整理上計測した脳波の諸量、2) 温度の脳波の形態に及ぼす影響、3) 温度の脳波エネルギーに及ぼす影響の諸項目に分けて以下順次記載する。

1) 成績整理上計測した脳波の諸量

実験成績を整理するために各種の動物の脳波について計測した諸量と、その計測方法は一部前報に準じたが、列挙すると次の通りである。

(1) 平均周期, 平均振幅

(2) 連続度

(3) 出現率

(4) 周期振幅和のヒストグラム

(5) 脳波エネルギー: 脳波エネルギーは平均振幅の2乗に比例するものとしてこれを求めた。これには色々問題があるが一応脳波が正弦波のものとであると仮定して、本川⁽⁹⁾に従い、振幅の2乗を計算した。

(6) 温度商 Q_{10} ⁽¹⁰⁾: 温度が 10°C 変つたときに現われる変化の vant Hoff の式における変化率である。即ち温度が t_1 から t_2 へ変つた場合に脳波エネルギーが K_1 から K_2 になつたとすると、温度商 Q_{10} は次式から求められる。

$$Q_{10} = \left(\frac{K_1}{K_2} \right)^{10/t_1 - t_2}$$

(7) Critical thermal increment μ ⁽¹¹⁾: これは化学反応の添活エネルギーに相当するもので Arrhenius の式

$$\log n = C - \frac{\mu}{2.3 RT}$$

から算出した。

温度商及び critical thermal increment は化学反応は、温度の変化により Arrhenius の式に従つて変り、両者は夫々その係数である。脳波も脳細胞における物質代謝にともなう化学的エネルギーと何等かの関係があるのではないかと思われるので、これらを算定した。

2) 温度の脳波の形態に及ぼす影響

昆虫綱の脳波では、先ず室温より上昇させた場合、蚕では 28°C 、バッタ 27°C 、コオロギ 26.5°C までは主波 (蚕 19cycle 位, $45\mu\text{V}$ 前後, バッタ 16cycle 位, $35\mu\text{V}$ 前後, コオロギ 23cycle 位, $51\mu\text{V}$ 前後) の周期の短縮と振幅の増加とが見られ、それより温度を上昇させると 38°C 位までは主波が減じ、1.3~3cycle 位, $60\mu\text{V}$ 前後と 40cycle 位, $5\sim 11\mu\text{V}$ 前後との波が漸次増加し、ヒストグラムは平坦か、或いは主波が減じて2峯

性の形となつた。

次に温度を下降させると、次第に主波が増加し、他の波が減じ、蚕 28°C 、バッタ 27°C 、コオロギ 26.5°C から、蚕 15°C 、バッタ 16°C 、コオロギ 15°C まではヒストグラムの型、連続度出現率などには殆んど変化が見られないが、周期の延長、振幅の減少のみが現われた。この温度 (約 15°C) 以下になると主波が減じ、蚕 37cycle 位, $7\mu\text{V}$ 前後と 2.5cycle 位, $35\mu\text{V}$ 前後, バッタ 35cycle 位, $10\mu\text{V}$ 前後と 2cycle 位, $8\mu\text{V}$ 前後, コオロギ 35cycle 位, $6\mu\text{V}$ 前後と 3cycle 位, $45\mu\text{V}$ 前後の波が増して2峯性のヒストグラムが得られた。更に温度を下げると全般的に振幅が減少した。

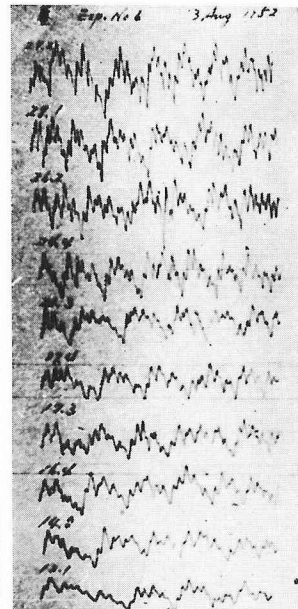
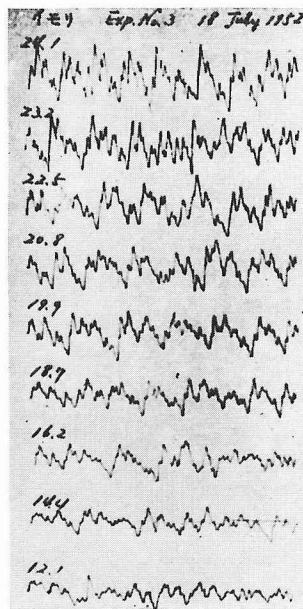
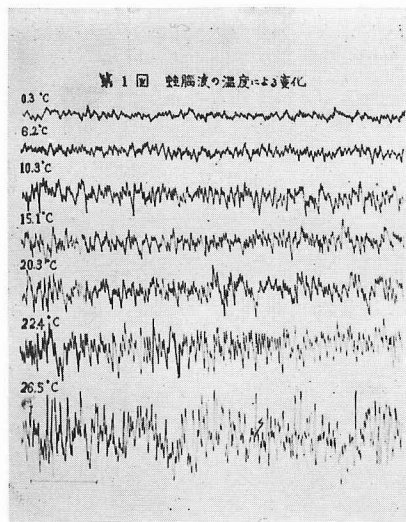
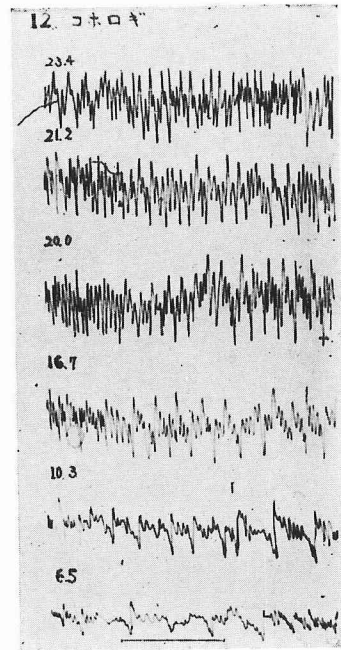
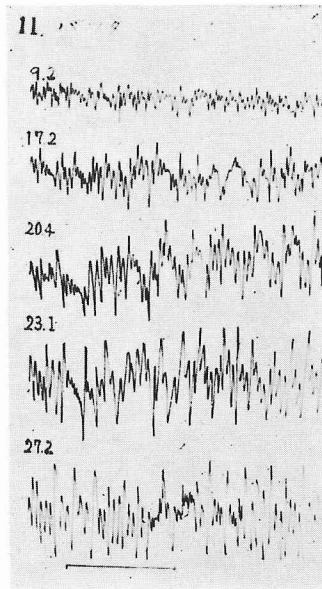
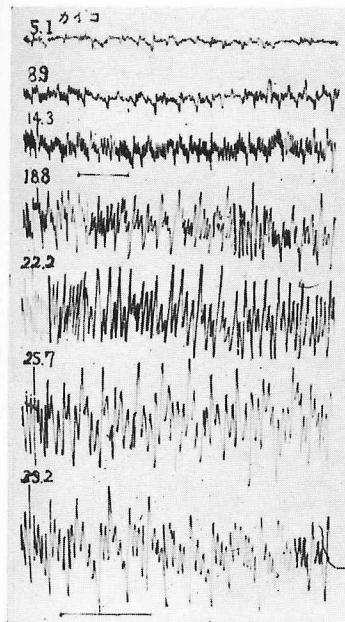
次に温度を上げると、ほぼ上記の逆の経過をたどつて室温時の脳波に戻つた。

温度の変え方を上述とは反対に初め下降させて後上昇させても $6\sim 35^{\circ}\text{C}$ の範囲では同一温度における成績は概ね一致した。

両接網の脳波では、先ず室温から上昇させた場合、蛙は 28°C 、イモリは 26°C 、鰻は 27°C 位までは主波 (蛙 8cycle 位, $43\mu\text{V}$ 前後, イモリ 7.8cycle 位, $33\mu\text{V}$ 前後, 鰻 7.6cycle 位, $42\mu\text{V}$ 前後) の周期の短縮と振幅の増加とが見られ、連続度出現率には余り変化はなかつたが、更に温度を上げると主波がやゝ減つて、蛙は 1.5cycle 位, $45\mu\text{V}$ 前後と 20cycle 位, $8\mu\text{V}$ 前後, イモリは 2.5cycle 位, $75\mu\text{V}$ 前後と 25cycle 位, $13\mu\text{V}$ 前後, 鰻は 25cycle 位, $8\mu\text{V}$ 前後と 2cycle 位, $60\mu\text{V}$ 前後との波が次第に増して、平坦なヒストグラムが得られた。次に温度を下げた場合は、主波が次第に増加し、蛙は $28\sim 13^{\circ}\text{C}$ 、イモリは $26\sim 14^{\circ}\text{C}$ 、鰻は $27\sim 14^{\circ}\text{C}$ 位までは主波の周期の延長と振幅の減少のみが漸次見られ、この温度以下になると蛙は 25cycle 位, $6\mu\text{V}$ 前後と 2cycle 位, $60\mu\text{V}$ 前後, イモリは 30cycle 位, $10\mu\text{V}$ 前後と 3cycle 位, $60\mu\text{V}$ 前後, 鰻は 30cycle 位, $10\mu\text{V}$ 前後と 3cycle 位, $45\mu\text{V}$ 前後との波が増して来て、 7°C 以下では主波は減少して殆んど見られず、ヒストグラムは2峯性か、または主波の周波数帯が未だ残る3峯性かであつた。

最後にその温度から逆に上げていくと、前と殆んど同様の経過を逆にたどつて常温の成績に戻つた。

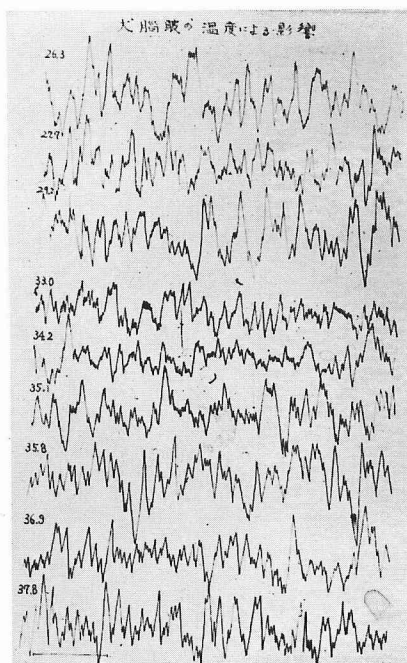
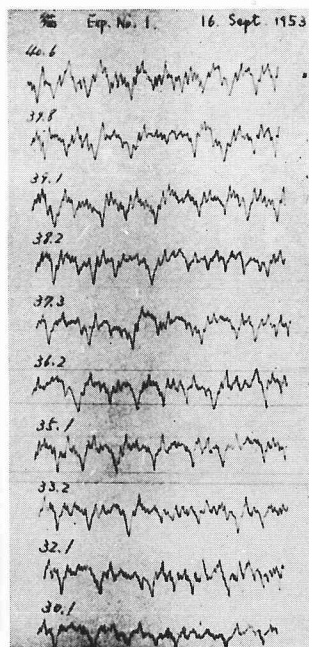
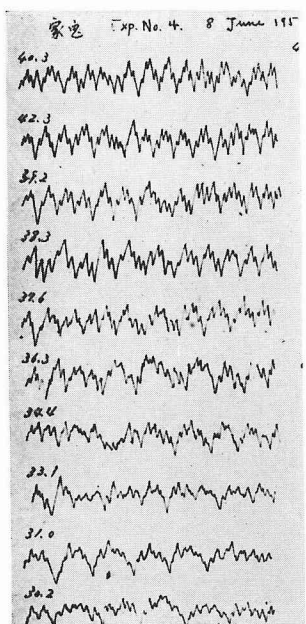
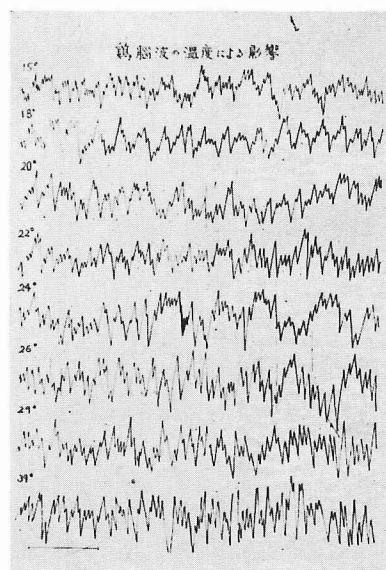
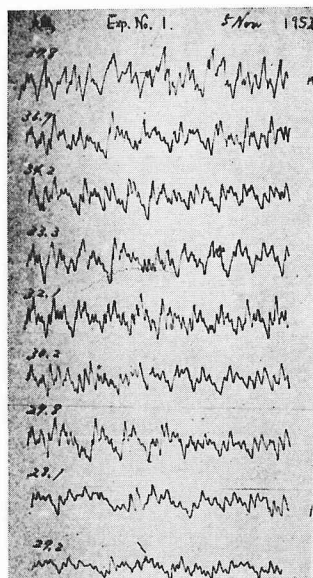
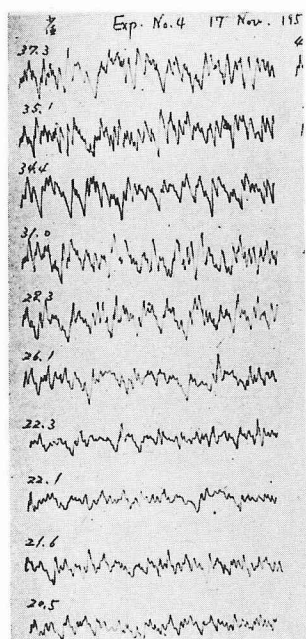
鳥綱の脳波では、温度を変えて体温から雀は 38°C 、山鳩は 40°C 、鶏は 40.5°C 位までは主波 (雀は 9cycle 位, $37\mu\text{V}$ 前後, 山鳩は 6.2cycle 位, $40\mu\text{V}$ 前後, 鶏は 8cycle 位, $45\mu\text{V}$ 前後) の周期の短縮と振幅の増加とが見られ、連続度は多少、小さくなる他には、ヒストグラムの型などは殆んど変りなかつた。更に温度を上げると主波が次第に減つて、雀は 20cycle 位, $10\mu\text{V}$ 前



後と 2cycle 位。45 μ V 前後、山鳩は 26cycle 位、12 μ V 前後と 2.3cycle 位。45 μ V 前後、鶏は 30cycle 位、10 μ V 前後と 3~4cycle 位、50 μ V 前後の棘状の波が増して、ヒストグラムは平坦な曲線となつた。

次に温度を下げると主波が漸次増加し、他の波は減つて来て、雀は 38~30°C、山鳩は 40~32°C、鶏は 41~32°C では主波の周期の延長と振幅の減少とが見ら

れ、連続度は次第に大となり、体温附近(雀 36°C、山鳩 37.8°C、鶏 38.7°C)を中心に再び減じて来るが、出現率には殆んど変化が見られなかつた。これらの温度以下では重畳波が著明になり、雀は 4cycle 位、50 μ V 前後の棘波、山鳩は 24cycle 位、13 μ V 前後と 2cycle 位、45 μ V 前後、鶏は 2cycle 位、45 μ V 前後と 28cycle 位、8 μ V 前後との波が増して、主波は次第に減じ、ヒ



ストグラムは平坦な形となつた。

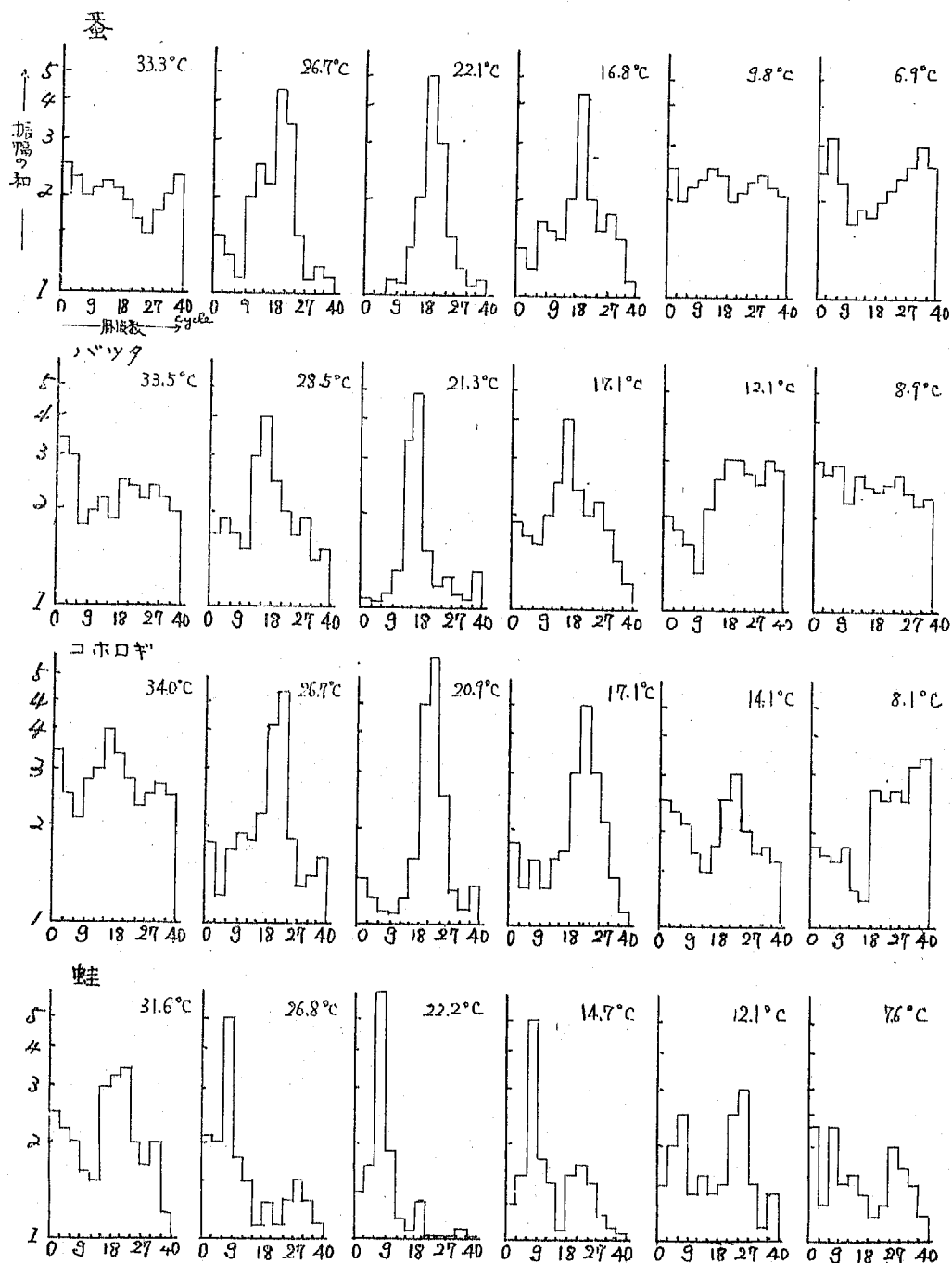
最後にその温度から再び上昇させると、多少の動揺はあつたが、前述と同様の経過を逆にたどつて、正常体温時の成績にもどつた。

但し各属とも脳温が、43°C以上、26°C以下でし

ば放置すると1~2cycle位、50 μ V前後の波が著しく現われ、或いは温度を変えても上述のような変化は全く見られなかつた。

哺乳類の脳波は体温から家兎では40°C、猫では39°C、犬では38°C位までは主波（家兎は8.4cycle位、

第 2 図 温度を変えた時の周期・振幅ヒストグラム

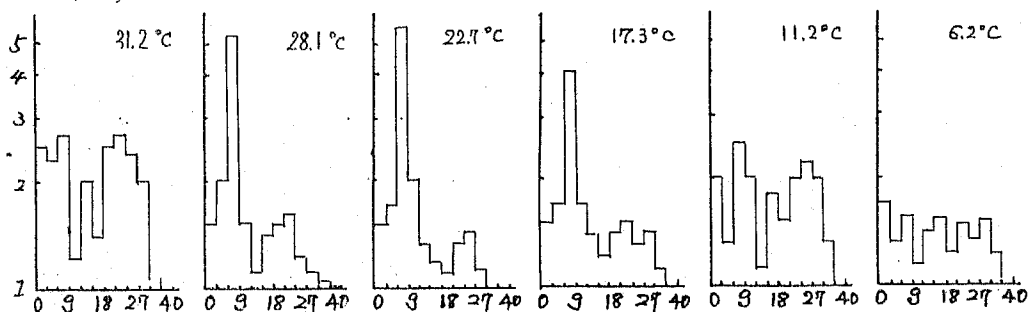


42 μ V 前後、猫は 6.8cycle 位、47 μ V 前後、犬は 9cycle 位、35 μ V 前後)の周期の短縮と振幅の増加とが見られ、連続度は多少小さくなるが出現率は殆んど変りなかつた。この温度以上になると主波の連続度は悪くなり、次第に減少し、家兎 2cycle 位、50 μ V 前後と 40

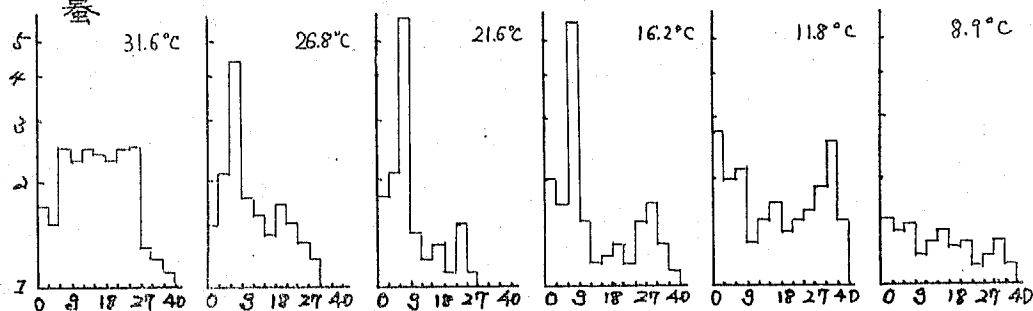
cycle 位、13 μ V 前後、猫は 1.5cycle 位、60 μ V 前後と 32cycle 位、8 μ V 前後、犬は 1.3cycle 位、55 μ V 前後と 18cycle 位、12 μ V 前後などの波が増えて来て、ヒストグラムは平坦になつた。

次にその温度から下げると、主波が漸次現われ、他

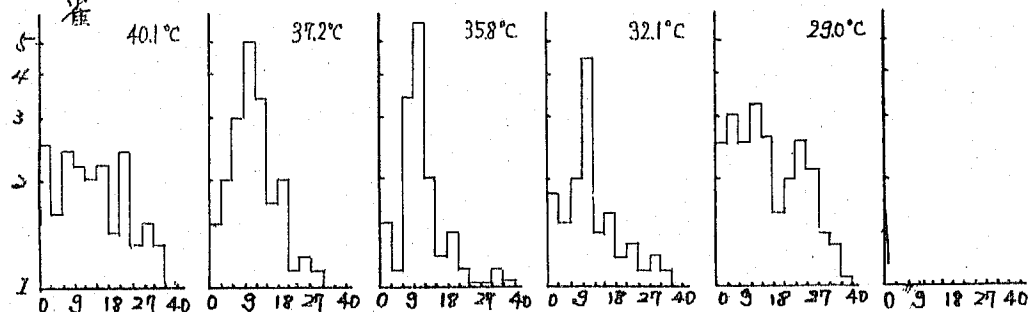
イモリ



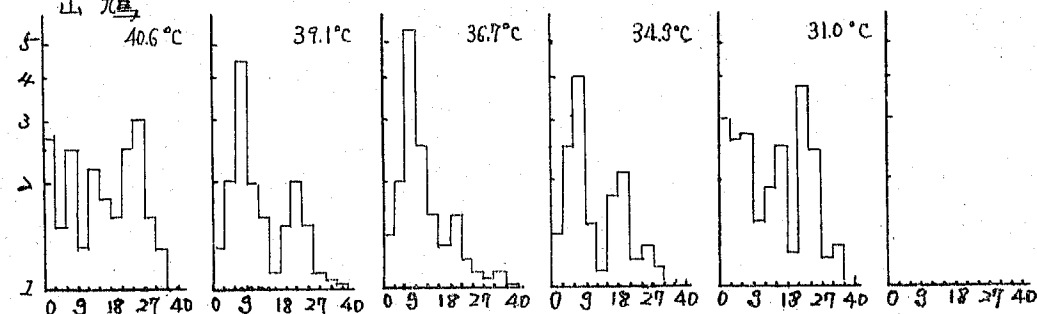
蛙



犬

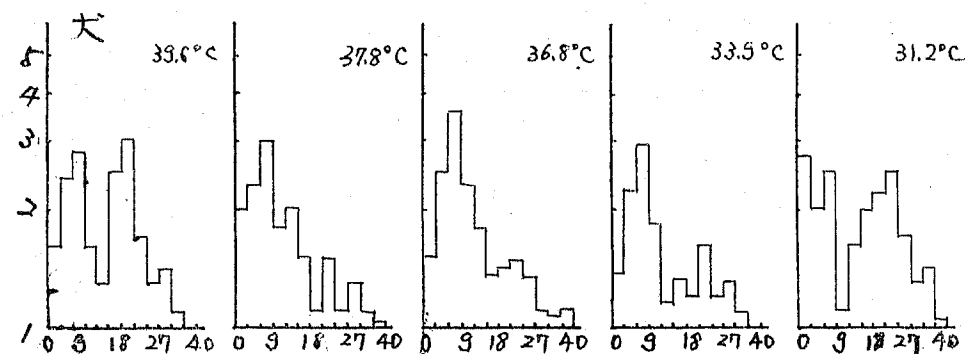
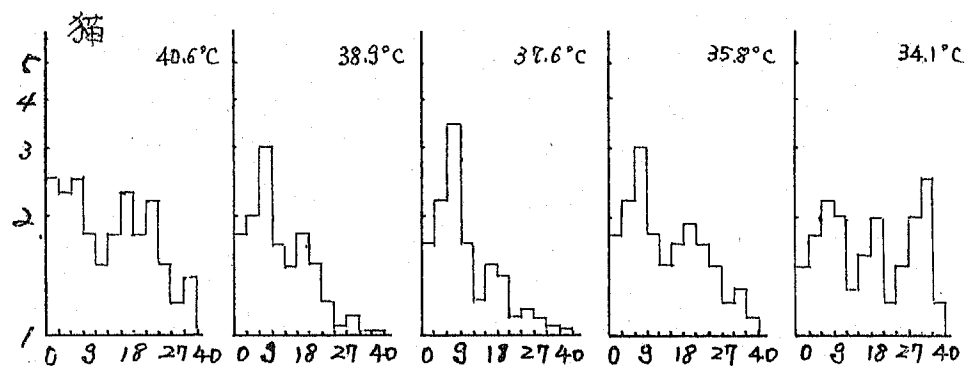
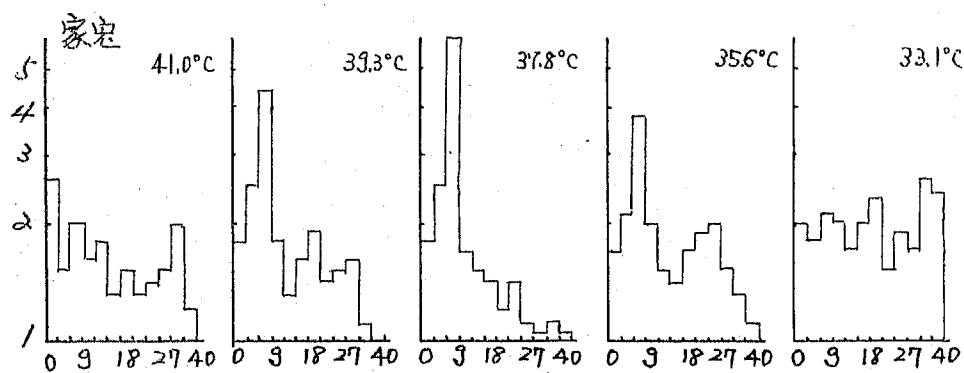
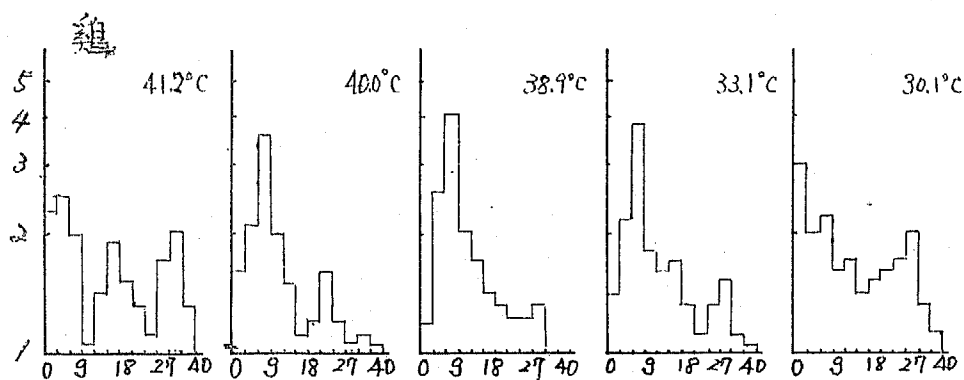


山鳩



の波は次第に減じ家兎では 40~34°C, 猫では 39~35°C, 犬では 38~33°C までは主波の周期の延長と振幅の減少とが見られたが, 連続度, 出現率などには殆んど変化が見られなかつた。これら家兎では 34°C, 猫は

35°C, 犬は 33°C 以下では, 家兎 2cycle 位, 45 μ V 前後と 38cycle 位, 11 μ V 前後, 猫 2cycle 位, 65 μ V 前後と 33cycle 位, 10 μ V 前後, 犬 2cycle 位, 50 μ V 前後と 22cycle 位, 10 μ V 前後との波が増し, 主波は減じて来



て平坦なヒストグラムが得られるか、主波の周波数帯が殆んど消失して2峯性の曲線となつた。

最後にその温度から再び上昇させると、前同様の経過を逆にたどつて、正常体温時の成績となつた。

以上脳温のみによる脳波の波形の変化は、12属の動物は夫々異なつていたが、各綱の動物に共通の変化は、或温度範囲内では波の組成には著しい変化がないが、温度が高まるにつれて、主波の周期の短縮と振幅の増加とが見られた。その他出現率、連続度などは体温附近で最も大きく、上下にへだたるに従つて程度の差はあつたが小さくなつた。これら温度範囲は動物によつて異なるが、同一属では類似しており、昆虫綱、両棲綱では広く、鳥綱、哺乳綱では狭かつた。なおこれ以外の温度では徐波或いは、速波などが増加して、一定の変化が見られず、ヒストグラムも平坦、2峯性或いは3峯性などの曲線が現われ一定していなかつた。

3) 温度の脳波エネルギーに及ぼす影響

温度の変化によつて脳波エネルギーは次のような変り方をした。温度(時間的経過)と脳波エネルギーとの関係を第3図に、また絶対温度の逆数との関係を第4図に示す。

以下個々について述べる。

昆虫綱の脳波エネルギーの変化は第3・4図に見られるように、蚕、バッタ、コオロギの3種は良く似

ている。温度が上昇すれば脳波エネルギーも増加し、温度が下降すれば脳波エネルギーも減少した。その変化の状態は第4図に示すように絶対温度の逆数と26~8°C(蚕、バッタ、コオロギのいずれも)の間では或る勾配をもつた直線が画かれ、夫々の値を Arrhenius の式にあてはめると第1表の Q_{10} 、 μ の如く、3, 14000 cal. であてはまつた。これらの変化は温度の変え方を当初上昇させ、次に下げても、また当初下降させてから上げてても同様の変化が現われ、その間に差違は認められなかつた。26°C以上あるいは8°C以下の温度では脳波エネルギーの変化は急激な増減、或いは変化が全く見られなかつたなど一定した変化が得られなかつた。

蛙、イモリ、蓼の脳波エネルギーの変化も蚕などと同様3者は殆んど変化が同じであつたから一括して記す。

第4図に見られるように28°Cから9°Cまでは脳波エネルギーは絶対温度の逆数と直線的に変わり、この値を Arrhenius の式に代入すると、夫々第1表の Q_{10} 、 μ の如く、約3, 12000 cal の値であてはまつた。この直線的関係は第3図のように温度の変え方を当初上昇させてから後下降させても、又当初下降させてから上げてても同様の変化が見られ、その間に差違がなかつた。

なお6月に採集した蛙では、温度が上つても全く変

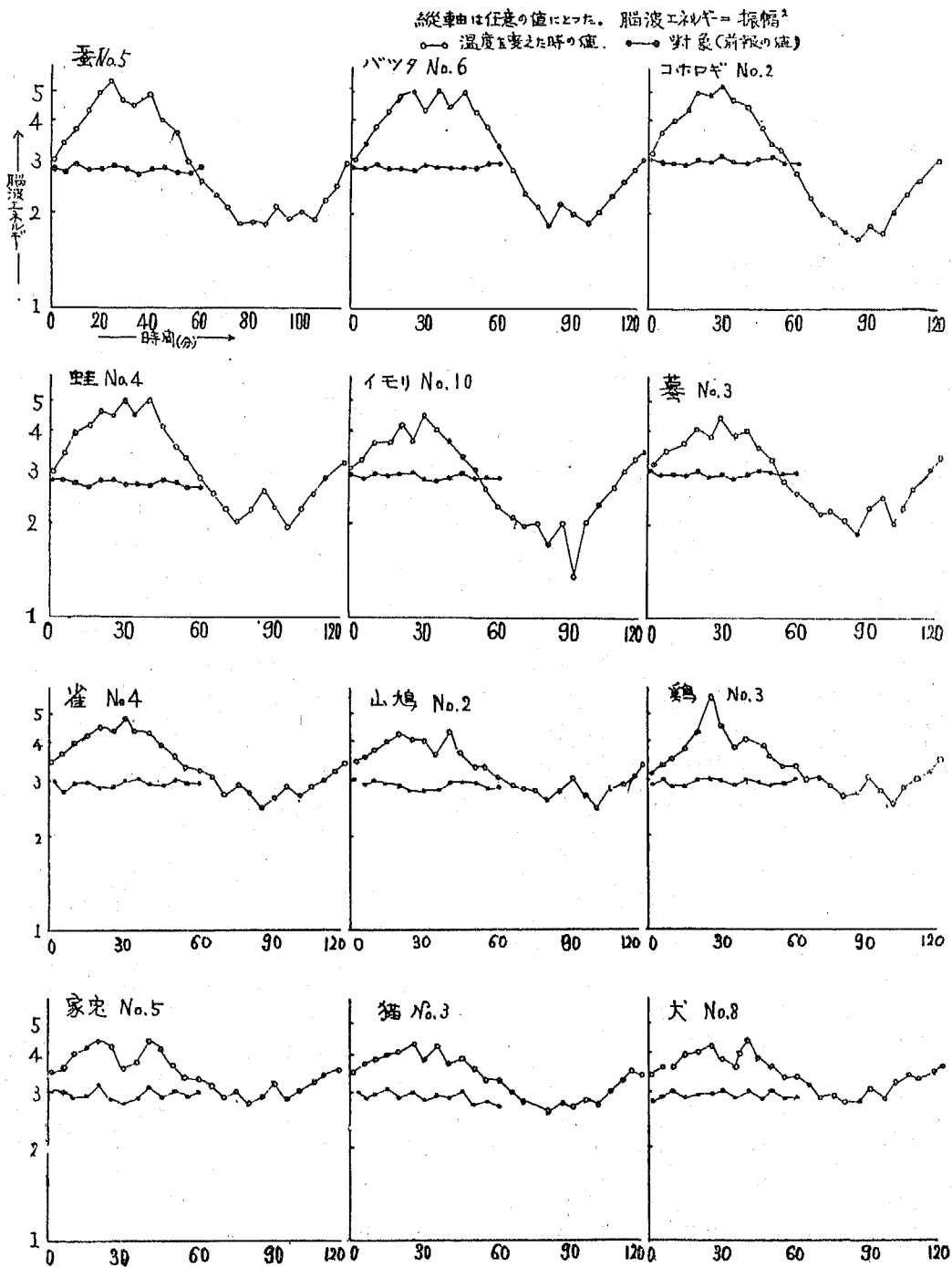
第1表 温度を変えたときの脳波の計測量

動物の種類	波形の温度範囲 ※		脳 波 エ ネ ル ギ ー			
			Arrhenius の式にあてはまる温度範囲		Q ₁₀	μ cal
	上 限 C°	下 限 C°	上 限 C°	下 限 C°		
蚕	28.0 (±1.6)	15 (±1.7)	26.0 (±1.4)	8.0 (±1.2)	3.2 (±0.9)	14000 (±2200)
バッタ	27.0 (±1.5)	16 (±1.3)	26.5 (±1.3)	8.5 (±1.6)	3.1 (±0.7)	14000 (±1600)
コオロギ	26.5 (±1.9)	15 (±1.7)	26.5 (±1.0)	8.0 (±1.3)	3.1 (±0.8)	13000 (±1300)
蛙	28.0 (±2.0)	13 (±1.6)	28.0 (±1.2)	9.0 (±1.9)	3.0 (±0.8)	12000 (±1300)
イモリ	26.0 (±1.9)	14 (±1.7)	27.0 (±2.1)	9.5 (±1.5)	3.1 (±0.7)	12000 (±1500)
蓼	27.0 (±2.1)	14 (±1.9)	26.0 (±1.6)	10.0 (±2.1)	2.8 (±0.3)	11000 (±1300)
雀	38.0 (±1.8)	30 (±2.1)	38.0 (±1.9)	30.0 (±1.6)	2.2 (±0.6)	8000 (±2100)
山鳩	40.0 (±1.6)	32 (±2.0)	39.0 (±2.0)	31.0 (±2.3)	2.1 (±0.7)	8000 (±2000)
鶉	41.0 (±1.2)	32 (±2.8)	41.0 (±1.6)	32.0 (±1.2)	1.9 (±0.8)	7500 (±1300)
家兎	40.0 (±1.9)	34 (±2.1)	39.0 (±1.8)	33.0 (±1.3)	1.9 (±0.6)	7000 (±1600)
猫	39.0 (±2.1)	35 (±1.6)	38.0 (±1.9)	33.0 (±2.6)	1.8 (±0.5)	7000 (±1500)
犬	38.0 (±1.8)	33 (±1.9)	38.5 (±1.4)	32.0 (±2.2)	1.9 (±0.3)	7500 (±2000)

(カッコの中は5%の危険率における母平均の範囲を示す)

※ 温度を変えたとき、主波の周期と振幅とが変化し他の計測量などには変化の現われなかつた温度範囲を示す。

第3図 温度(時間)と脳波エネルギーとの関係



化がみられない場合もあり、エネルギーが減少する場合もあつて一定した成績は得られなかつた。また28°C以上、9°C以下の温度では脳波エネルギーの変化は急激な増減をするか、殆んど変らないか、成績が不定で

あつた。

鶏、山鳩、雀の脳波エネルギーの変化は前2群程著明でなかつた。雀は鶏、山鳩などとは多少温度範囲が異なるが大体3者とも同様の結果であつたから一括し

て記す。

第3図に見られるように温度が高いと脳波エネルギーも増し、温度が低くなると減少する。そして32~41°C(雀は30~38°C)の間で鶏の3例を除き絶対温度の逆数との間に直線関係がみられた。この成績を Arrhenius の式にあてはめると、 Q_{10} が約2, μ が約8000 cal であてはまり、これらの変化は当初温度を上げてから下降させても、また下降させてから上げて差違が認められなかつた。しかしこの温度以外での変化は急激な増減、あるいは殆んど変らないなど一定していなかつた。

43°C 以上26°C 以下の温度に数分間動物の脳温を保つておくと、それ以下の温度に戻しても脳波エネルギーの変化は不規則となり、上述のような変化は認められなかつた。

家兎、猫、犬の脳波エネルギーの温度による変化は鶏などと似ており、33~38°Cの温度範囲では第4図に示すように絶対温度の逆数と直線関係にあり、この間の値を Arrhenius の式に代入すると第1表の如く Q_{10} が1.9 以下、 μ は7000 cal であてはまつた。この温度範囲以外では不規則な変り方で、或るものは急激な増減があり或るものは温度によつても変化しない等で一定でなかつた。

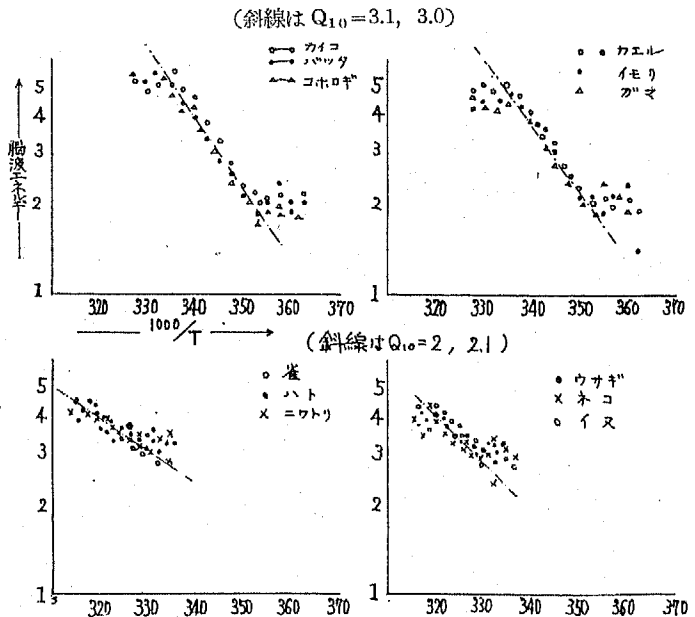
これらの変化は当初温度を上げて後下降させる。或いは下降させてから上昇させても差違はないが、40°C 以上か30°C 以下に数分間おくと、その変化は不規則となつた。

以上12種類の動物の脳波エネルギーの温度による変化を總括すると、12種共或温度範囲内では温度の変化によつて脳波エネルギーは絶対温度の逆数と直線的に変わり、それらの値を Arrhenius の式に代入すると温度範囲、 Q_{10} 、 μ 等は夫々異なるがあてはまつた。これらの温度範囲、 Q_{10} 、 μ 等の値は第1表に示すが、昆虫綱、両棲綱などでは範囲も広く、 Q_{10} は3前後、 μ は14000 cal であり、鳥綱、哺乳綱では範囲も狭く、 Q_{10} は2前後、 μ は8000 cal 位で小さかつた。

考 察

実験条件のうち温度を変える方法については、昆虫綱、両棲綱の場合に採つた全身を恒温槽に入れて行う方法にはそれ等が変温動物であるから問題はない。恒温動物の脳温を変える方法には問題が多い。雀、山鳩、

第4図 絶対温度と脳波エネルギーとの関係



鶏、家兎、猫、犬に応用した総頸動脈中の血液の温度を短波及び冷却管で変える行き方には問題があると思われる。恒温動物の脳温乃至体温を変える方法として、Ichinose^⑤、Jasper^⑦等は vaccine 注射法を採用し、小野江^⑩は脳に直接超短波を作用して脳温を変えているが、何れも脳温の変化以外に、副作用が指摘されている。又脳温と身体他部との温度差は考慮する必要もあろう。

著者の採用した方法では、熱電対により脳温並びに総頸動脈中の血液温度を測定したが、脳温は総頸動脈中の血液温度の変化に比較すると多少小さいが変化が現われ、また成績が可逆的であり、副作用も少く、脳温のみを目標とする限り適当な方法と考えられる。

温度と脳波乃至脳波エネルギーとの関係については、まだ脳温と脳波エネルギーとの関係を取扱つた報告は見当たらないが、Libet & Gerard^④は摘出蛙脳で、振幅、周期共に8~27°Cの温度範囲では夫々 Arrhenius の式にあてはまり、 Q_{10} は3, μ は14000 cal であると報告しており、著者の両棲類における成績と良く似た結果である。

昆虫綱及び鳥綱についての文献は見当らず、哺乳綱については、Bremer^⑥、Jen Cate^②等は猫及び白鼠について、Hoagland^⑧、Horikawa^⑨等は人体で夫々体温の極く近い温度範囲では Arrhenius の式にあてはまるといい、Ichinose^⑤は人間について vaccine 注射で

発熱させ、体温よりへだたるに従つて θ 波が現われ、それが次第に増加してくると報告している。しかし vaccine による発熱は全身的の全温変化をおこすが、それともなう震えなどを除外できない。小野江⁽¹⁰⁾は家兎の頭部に直接超短波を加え、脳温を変えると、或る程度は温度の上昇にともなつて脳波の周期の減少と振幅の増加が見られたが、超短波を切つても、なおゆるやかな変化が長時間続くと述べている。

著者の家兎、猫、犬の場合 33~38°C の体温近くの範囲では Arrhenius の式にあてはまり、それより上下の 43°C 位、28°C 位では棘状の除波が増加したことは Bremer, Hoagland, Horikawa 等の成績と同様の結果である。

以上先人の業績は必ずしも一致せず、また夫々実験条件を異にしているので厳密な比較検討はできないが、各種動物について、なるべく実験条件を統一して行つた著者の成績によれば、同種の動物脳波の変化はよく一致し、同綱内では比較的良く似た成績が得られ、なお各綱相互の間には夫々相違が認められた。即ち各動物は温度範囲、 Q_{10} 、 μ は異なるが、或温度範囲では Arrhenius の式にあてはまる。それらの値は第 1 表に示すように、昆虫綱では 26~8°C、 Q_{10} は 3.1、 μ は 14000 cal、両棲綱では 27~9°C、 Q_{10} は 3.0、 μ は 12000 cal、鳥綱では 40~31°C、 Q_{10} は 2.1、 μ は 8000 cal、哺乳綱では 39~33°C、 Q_{10} は 1.9、 μ は 1000 cal、であつた。

これらの原因については、生体の律動現象の Q_{10} は 3 前後であり、Belehradek⁽¹¹⁾、 μ は 8000~16000 cal である (Crozier⁽¹²⁾)、一方化学反応速度は Arrhenius の式に従つて変ることなどから、脳波が脳細胞の化学的エネルギーの変化の電気的な現われではないかと思われ、各綱間の違いも、昆虫綱、両棲綱など変温動物では脳における化学変化は比較的単純であり、変温に対して適合できるように行なわれており、これに対して鳥綱、哺乳綱等恒温動物における変化は複雑で、体温の近くの温度のみで法則性のある一連の反応形式を示すものと思われる。

総括並びに結論

化学反応速度の多くは、温度を変えると Arrhenius の式に従つて変ることが知られている。脳波の場合にも、その個体の温度を変えると振幅周期が変わることが認められ、その変化を通じて脳細胞における化学変化の過程を覗おうとする多くの試がなされてきた。しかしながら実験者により、また実験動物の種類によつて、それらの成績に相違がみられるので、著者は下等動物から高等動物に亘る、蚕、バツタ、コオロギ、

蛙、イモリ、蟄、雀、山鳩、鶏、家兎、猫、犬の 12 種の動物を対象とし、なるべく実験条件を等しくして、温度による脳波の変化を主として脳波エネルギーの観点から追究した。

脳温を変える方法としては、昆虫綱、両棲綱は恒温槽に入れ、鳥綱、哺乳綱では總頸動脈内の血液を超短波で加温し、冷却管を巻きつけ冷水を通して冷却する方法を採つた。

脳波エネルギーの温度による変化は、各動物共、一定の範囲内は Arrhenius の式にあてはまり、脳温が高い程大きく、低い程小さかつた。その温度範囲、 Q_{10} 、 μ は夫々次の値をとつた。

即ち蚕、バツタ、コオロギは 26~8°C、 Q_{10} は 3 前後、 μ は 14000 cal。

蛙、イモリ、蟄は 27~9°C、 Q_{10} は 3 前後、 μ は 12000 cal。

雀、山鳩、鶏は 40~31°C、 Q_{10} は 2.1、 μ は 8000 cal。

家兎、猫、犬は 39~33°C、 Q_{10} は 1.9、 μ は 7000 cal、であつた。

欄筆するにあたり種々御指導御校閲を賜つた和合教授並びに北大藤森教授に深謝いたします。

本研究は昭和 27 年度文部省科学研究助成補助金の助力により、信大医学部生理学教室において、昭和 27 年 6 月より 28 年 12 月までに行つたものである。

本論文の要旨は第 29 回日本生理学会總會及び第 2 回脳波学会で報告した。

文 献

- ① Libet, B. and R. W. Gerard; Control of the potential rhythm of the isolated frog brain. J. Neurophysiol., 2: 153. 1939.
- ② Ren Cate J., P. N. Horsten, and E. Koopman; The influence of the body temperature on the EEG of the rat. Elektroencephalogram., 1: 231. 1949.
- ③ Kornmüller, A. E.; Die bioelektrischen Erscheinungen der Hirnrindenfelder. Leipzig Georg Thieme; 1937; Bioelektrische Untersuchungen über den Pathomechanismus des zentralnervensystem. Dtsch. Zsch. f. Nervenkr., 139: 81. 1936.
- ④ 萱嶋・只植; 大脳電流に関する研究 (基礎的研究其の一) 海軍医学雑誌, 139: 81, 1943.
- ⑤ Bremer, F.; Quelques propriétés de l'activité électrique de cortex cérébral isolé. C. r. Soc. Biol., 118, 1241-1244. 1935.
- ⑥ Hoagland, H.; Pacemaker of human brain wave in normal and in general paresis. Am. J. Physiol. 116: 604. 1936; On the mechanism of the "Berger rhythm" in normal man and general paresis. Am. J.

Physiol., 116: 77. 1936. ⑦Jasper, H. H. and H. L. Andrews; Electroencephalography. III. Normal differentiation between occipital and pre-central regions in man. Arch. Neurol. Psychiat., 39: 96. 1938.

⑧Jasper, H. H.; cortical excitatory state and variability in human brain rhythm. Science 83: 259. 1936.

⑨Ichinose, N.; Electroencephalogram during the period of high fever caused by typhoid vaccine infection (second report). Folia Psychiat. Neurol. Jap. 4: 108. 1950.; Electroencephalogram during fever caused by the injection of typhoid vaccine. Folia. Psychiat. Neurol. Jap. 3: 129. 1949.

⑩Teschner, P., & Gellohorn, E.; Temperature and convulsive activity. Arch. internat. Parma. Therap. 84: 57. 1950.

⑪L. Tsung-Yi; EEG changes during fever produced by inductothermy (Fever cabinet) in patients with neurosyphilis. Electroencephalogram. 5. 217. 1953.

⑫Horikawa, R.; An experimental study on the node of energy consumption in brain. Folia Psychiat. Neurol. Jap. 5: 71. 1951.

⑬島村; 動物脳波の動物の種類による比較.

⑭Belehrádek, J.; Temperature and living matter. Protoplasma monographien, VIII. 1935.

⑮Arrhenius, S.; Z. Phys. chem. 4: 226. 1886 [⑩より引用]

⑯小野江; 家兎脳波の実験的研究. 北海道医誌 21: 492. 1943.

⑰Motokawa, K.; Das wahrscheinlichkeits prinzip über die gehirnelektrischen Erscheinungen des menschen. Jap. Jpir. Med. Sci. Biophysics 8; 63. 1944.

⑱Crozzier, W. J.; On Biological oxidation as function of temperature. J. Gen. Physiol. 7: 189. 1925.

Relation between Electroencephalogram and Brain Temperature in Various Kinds of Animals

Muneco Shimamura

Department of Physiology, Faculty of Medicine,
Shinshu University
(Direct. Prof. U. Wago)

It was studied that how energy of electroencephalogram might change under various brain temperatures, and whether the author's data might act on the Arrhenius equation or not.

Silkworms, crickets, grasshoppers, frogs, newts, toads, sparrows, pigeons, hens, rabbits, cats and dogs were used for experimental animals.

The following results were obtained, and coincided with the equation.

Animal	Latitude of brain temperature	μ	Q_{10}
(1) silkworm, cricket			
grasshopper	26- 8°C	14,000cal	3.1
(2) frog, newt, toad	27- 9°C	12,000cal	3.0
(3) sparrow, pigeon, hen	40-31°C	8,000cal	2.1
(4) rabbit, cat, dog	39-33°C	7,000cal	1.9

The latitude of brain temperatures which came under the Arrhenius equation showed a wide range comparatively with a low temperature in (1) and (2) groups, while in groups (3) and (4) a narrow range relatively with a high temperature. The reason why there were such differences between the cold blooded animals and the warm blooded was discussed.