

電波のラット胎児造血器への影響評価  
平成 22 年度 報告書

東京大学

## <目次>

### I 要旨

### II 研究目的

### III 試験方法

1. 実験動物
2. 電波ばく露
  2. 1 ばく露装置
  2. 2 ばく露出力の設定
  2. 3 漏洩電界の測定
  2. 4 電波ばく露
  2. 5 電波ばく露量のモニタリング
3. 体重測定
4. 検体の採取
5. 評価方法
  5. 1 骨髄造血幹細胞の計測
  5. 2 末梢血の血液分画の計測
6. 統計処理

### IV 試験結果

1. 妊娠ラットの体重、体温変化
2. 妊娠日数、産子数、性比
3. 産子ラットの体重、骨重量
4. 骨髄造血幹細胞への影響
5. 末梢血分画への影響

## 6. 実測データの付記

- 6.1 妊娠ラットの体重、体温データ
- 6.2 妊娠日数、産子数、性比に関するデータ
- 6.3 19日齢、産子ラットの体重、骨重量データ
- 6.4 骨髄造血幹細胞数のデータ
- 6.5 末梢血の血液分画のデータ

## V 考察

## VI まとめ

## VII 参考文献

# I 要旨

本研究の目的は、携帯電話端末から発せられる電波が胎児造血器に影響を及ぼすかを明らかにすることである。現在の主に使用されている第三世代の携帯電話で使用されている周波数に相当する 1.95GHz W-CDMA 方式の電波にて実験を行った。メスの妊娠 Sprague-Dawley ラットに、脳平均 SAR 2W/kg、6W/kg で 1 回 90 分間の単回ばく露(妊娠 16 日目)を行った。また、ばく露装置に 90 分間固定するもの実際に電波ばく露をおこなわない sham 群、ならびに、ばく露装置の固定も行わない cage-control 群を設定した。Cage-control 群、sham 群ならびにばく露群の妊娠ラットにおいて、全数が出産した。19 日齢の産子ラットを屠殺し、骨髓細胞と末梢血液を採取した。ラット骨髓造血幹細胞の同定については、FACS(fluorescence activated cell sorter)での手技による。ラット造血幹細胞に特異的な抗体(Thy)と各血球分化抗原に対する抗体(CD3、CD45)を一次抗体として用い、それぞれを蛍光色素で標識する。その後、FACS を用いて細胞毎に相対的大きさや形状、内部構造の違い、蛍光強度を解析することで、ラット骨髓造血幹細胞を多く含む細胞群(Thy 陽性、CD3 陰性、CD45 陰性細胞群)を同定した。また、血球計算機を用いて、末梢血の分画(白血球数、赤血球数、血小板数)を測定した。結果として、SAR 2W/kg ならびに SAR 6W/kg の電波ばく露により、ラット骨髓造血幹細胞と末梢血分画への明らかな変化は認められなかった。

以上により、「電磁波防護指針」の一般環境規制値である局所 SAR 2W/kg を上回る値の短期ばく露においても、今回の条件下では胎児造血器は影響を受けないことが示された。

## II 研究目的

われわれ人間の健康を考察する際には、生活環境からの生体への影響を重要視することが必要である。特に医療分野では、「疾患の治療の進歩」だけでなく、「予防医学」の重要性が唱えられるようになった昨今、健康への環境因子の評価は、より重要性を増していると考ええる。

社会技術の進歩とともに、人間の生活環境は変化しており、電力がライフラインとして確立された時代には、極低周波の電波を発する送電線により人体への影響が懸念され、種々の報告がなされた。また、テレビやパソコンが浸透した時代には、それらが発する低周波電波の健康への影響が懸念・評価されている。さらに、近年、携帯電話が目覚ましい普及を果たし、それから発せられる高周波電波の生体への影響が、関心を集めている。現在のところ、携帯電話は最も人体に近接して用いられる電波発生装置であり、その生体、特に脳への影響の評価は急務であると考えられる。そこで、これまで携帯電話の高周波が生体へ与える影響として、遺伝子の損傷[1]、悪性腫瘍の発生[2, 3]、中枢神経内分泌系への影響[4, 5]、高次機能としての学習への影響[6]などが評価されてきた。また、社会的関心の高いものとして、胎児や子供に関する携帯電話の影響が挙げられる。2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields によれば、早急に検討すべき動物実験のひとつとして、未発達な動物に対する電磁波の影響、特に造血器や免疫に関しての影響評価を検討すべきとされている

造血は、胎児期には主に肝臓、脾臓、骨髄が担い、生誕後は骨髄で行われている。血液を構成する成分には、主に酸素と二酸化炭素を運搬する赤血球、体内に侵入した異物や腫瘍細胞、老化した細胞を認識して排除する白血球、出血部位に集まり止血を行う血小板などがある。これらの血液成分の働きにより、生体は恒常性を維持することができる。血液成分は、常に消耗され新しい細胞が作られており、全ての血球細胞は造血幹細胞が分化することで作られている。造血幹細胞とは、多分化能と自己複製能の2つの性質をもつ細胞で、自己複製能により細胞は枯渇することなく、また、多分化能を有するために赤血球、白血球、血小板などに分化することができる[7]。血球の源である造血幹細胞や末梢血分画が、携帯電話の高周波電波によりどのように影響を受けるかは未だ明らかにはされていない。高周波電波と造血器に関しては、Buslgeta ら[8]が報告しており、全身平均の電力比吸収率 (Specific Absorption Rate (以下、「SAR」という。)) 1-2W/kg の 2.45 GHz 電波の 120 分ばく露において、照射期間 8 日と 15 日の群で赤血

球数、ヘモグロビン、ヘマトクリットの上昇を認めたと報告している。電波ばく露による造血器の変化を血球成分の変化としてとらえた希少な研究であるが、脳平均 SAR での評価はなされておらず、携帯電話端末の影響評価としては不十分な可能性が考えられる。電離放射線（ $\gamma$ 線）と胎児造血器に関しては、Weinberg[9]が、妊娠 10 日目のマウスに対する 0.5-1.5 Gy の電離放射線のばく露により、産子マウス（19 日齢）の赤血球数、白血球数の減少を認めたと報告している。しかしながら、携帯電話端末が広く普及した現在も、高周波電波と胎児造血器に関する研究は未だに報告されておらず、社会的重要性の高い研究項目と考えられる。

そこで今回、我々は、一般環境の防護指針である局所 SAR 2W/kg に加え、過去の報告で評価された局所 SAR 6W/Kg の携帯電話電波ばく露を妊娠ラットに 90 分間行い、19 日齢の産子ラットの骨髓造血幹細胞、末梢血分画の解析を行った。現在主に使用されている第三世代の携帯電話で使用されている 1.95GHz W-CDMA 方式の電波にて実験を行い、ばく露にはラット脳に正確な出力でばく露可能なように、ラットをアクリル筒の中で固定して、照射を行った。

### Ⅲ 試験方法

#### 1 実験動物

実験動物は 10 週齢の妊娠した Sprague-Dawley (SD) ラット (日本チャールス・リバー株式会社) を用いた。このラットを用いた理由は、性格がおとなしいため、取扱いが容易で、ばく露中にも装置の中で定位置を保ちやすいこと、また、過去の報告でも使用されており、研究結果の比較検討を行いやすいことがあげられる。飼育室は室温 22 ±2°C、湿度 40% ±5%、明暗が 12 時間ごとに調整した。1 ケージあたり 1 匹で飼育し、食餌制限ならびに水分制限を行わずに飼育した。また、飼育環境の変化による影響をできるだけ排除する目的で、ラット購入後実験開始まで 7 日から 14 日の期間をおいた。

ラットは、電波ばく露条件により、以下の様に 5 群に分けられた。

- (1) Sham 群：ばく露装置に 90 分固定するが、実際に電波ばく露は行わない群。
- (2) SAR 2W 群：脳平均 SAR 2W/kg の条件で 90 分単回ばく露を行う群。
- (3) SAR 6W 群：脳平均 SAR 6W/kg の条件で 90 分単回ばく露を行う群。

各群に 6 匹ずつ割り当て、6 匹/群 x 3 群=18 匹で実験を行った。

また、同じ飼育室にてケージ内で飼育のみ行い、ばく露の操作をせずに同様のスケジュールで屠殺する cage-control 群も設定した。さらに、電波ばく露の影響について positive control の必要性を考慮した。Yamaguchi[6]らの報告ならびに Tsurita[10]らの報告によると、熱効果を発揮する電波出力 (SAR 20W/Kg もしくは 25W/Kg) において、ラットの学習能力の変化や血液脳関門(Blood-brain barrier)透過性の変化を認めている。よって、今回の実験では、胎児造血器の変化を観察する positive control として、SAR 20W/Kg の電波を妊娠ラットに 90 分間ばく露を行い、その産子ラットから検体を採取した。Cage-control 群には 6 匹、positive control 群には 3 匹を割り当て、合計 27 匹で実験を行った。

なお、全実験期間を通じ「研究機関等における動物実験等の実施に関する基本指針(平成 18 年 6 月 1 日文部科学省告示第七十一条)」に則り取り扱った。

#### 2 電波ばく露

##### 2.1 ばく露装置

本実験では、現在広く用いられている第 3 世代携帯電話で使用される電波をラットに

照射する。ばく露システムの概略及び外観を図 1 に示す。信号発生器で 1.95 GHz W-CDMA 信号を発生させ、増幅器で増幅したのちばく露箱内の 1/4 波長モノポールアンテナに入力する。アンテナ入力電力は電力計によりモニター可能である。なお、信号発生器以外は専用のシールドルーム内に設置されている。この装置は、上下に同等な電波暗室を重ねたものであり、下の暗室を Sham 群の実験として使用した。

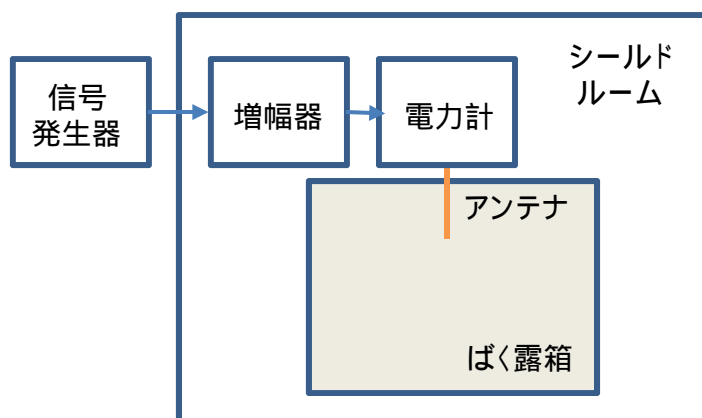


図 1 ばく露システム概略と外観

図 2 にばく露箱内でのラットの配置を示す。ばく露箱は天井が金属面でそれ以外の面は吸収体で覆われている。天井中心に 1/4 波長モノポールアンテナが設置されており、ラットは専用の固定器で固定され頭部をアンテナの先に向けて放射状に 10 匹配置される。ラットには下部よりファンを通して新鮮な空気が供給される。今回我々は、10 週齢の妊娠ラットを用い、電波ばく露時は専用のアクリル筒にラットを挿入して実験を行った。



このアクリル筒は、先端が細くなっており、その部位にラットの顔面が固定される構造となっている。先端部には鼻先のみが出せるように穴が開いており、呼吸を妨げない構造となっている。また、ラット尾側からは、注射筒のピストン状の固定装置を挿入し、筒内でのラットの前後移動や頭部の反転を抑制した。

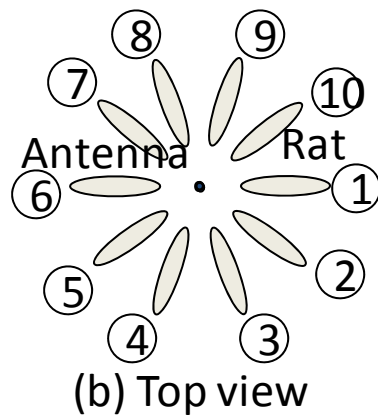
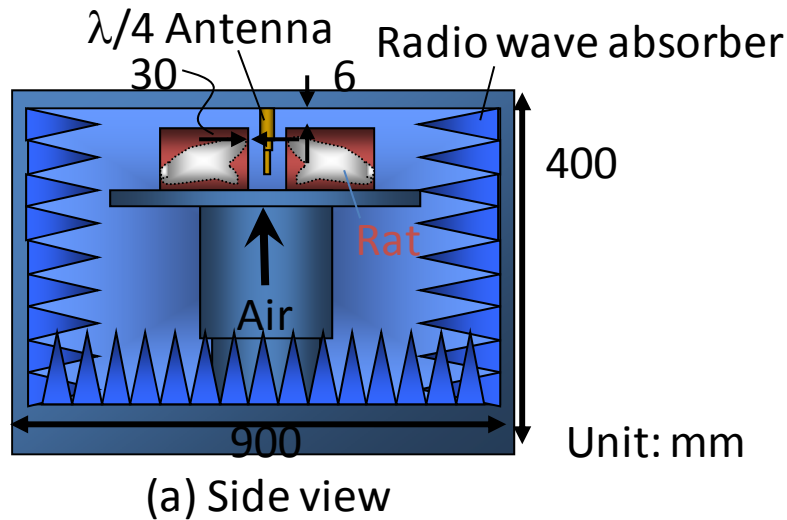


図2 ばく露箱内のラット配置

## 2.2 ばく露出力の設定

本システムでラットをばく露する場合、図3に示すようにラットの体重により SAR が変化する。ばく露を精密に制御するためには、実験に用いるラットの体重に応じて、所望の脳平均 SAR を生じさせるアンテナ入力電力を調整する必要がある。本実験では、ばく露する妊娠ラットの体重を 320-360g と想定し、20g ごとに各体重のラットに対し

て所望のばく露を行えるよう設定した。表 1 に実験に用いたラット体重、所望の入力電力およびその際の SAR 値をまとめる。

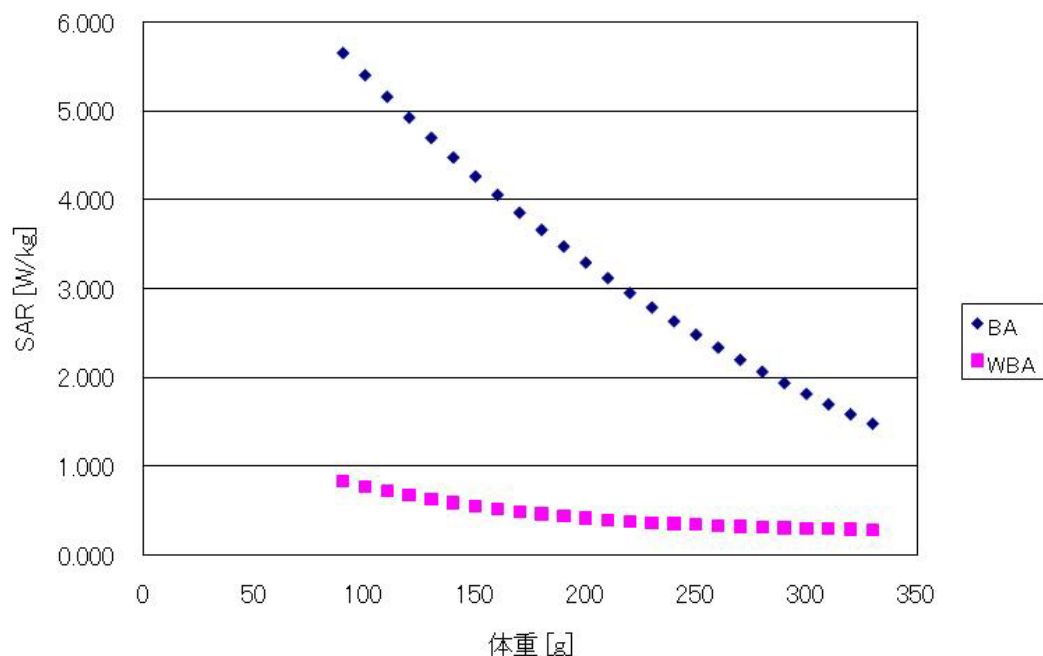


図 3 ラット体重に対する SAR 依存性

表 1 ラット体重に対する SAR 設定値

体重	目標脳平均 SAR	目標入力電力	信号発生器 設定値	入射電力	反射電力	アンテナへの 入力電力	脳平均SAR	パラメータ
g	W/kg	W	dBm	dBm	dBm	W	W/kg	
320	2	1.28	-17.9	31.39	19.60	1.29	2.01	320-BA2
320	6	3.84	-13	36.19	24.35	3.89	6.07	320-BA6
320	20	12.8	-7.9	41.35	29.25	12.80	20.01	320-BA20
340	2	1.47	-17.2	31.97	20.20	1.47	2.00	340-BA2
340	6	4.41	-12.4	36.79	24.93	4.46	6.07	340-BA6
340	20	14.7	-7.2	42.07	30.15	15.07	20.51	340-BA20
360	2	1.7	-16.7	32.67	20.78	1.73	2.03	360-BA2
360	6	5.1	-11.8	37.39	25.48	5.13	6.03	360-BA6
360	20	17	-6.7	42.57	30.61	16.92	19.91	360-BA20

信号発生器(SG)の設定値とアンテナ入力電力の関係を図 4 に示す。図 4 より本実験で使用する-20dBm から-5 dBm 程度において十分な線形性があることが確認できる。

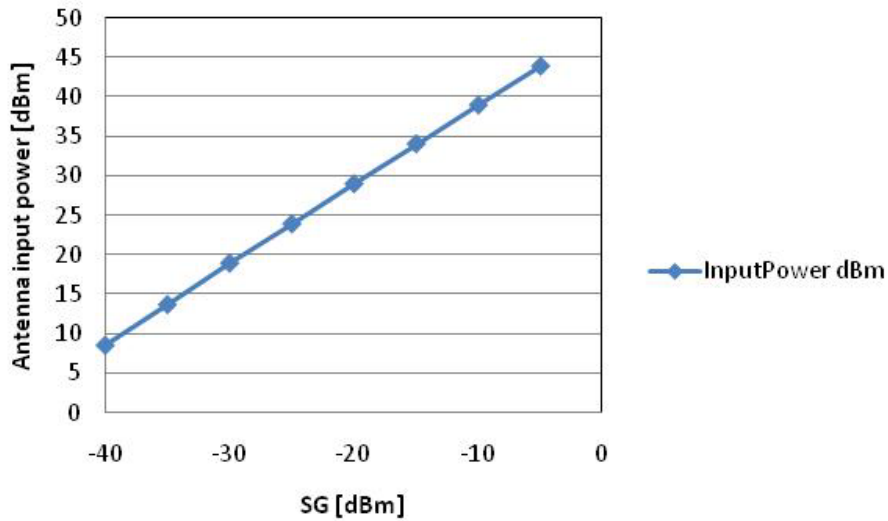


図 4 信号発生器(SG)設定値とアンテナ入力電力の関係

ばく露実験中のばく露量の設定と管理について、以下のように手順を定めて行った。



図 5 信号発生器の外観

- (1) 図 5 に示す信号発生器の電源(左下)を入れ, 右下の OUTPUT ボタンが緑色に点灯していないことを確認する。
- (2) 信号発生器の設定を選択する。画面横の Utility ボタンを押し、以下の操作を行う。

F1: Parameter Save/Recall

F1: Parameter Recall

ダイヤルを回転またはダイヤル横の $\uparrow\downarrow$ キーを押し、表1の 320-BA2,6,20、340-BA2,6,20、360-BA2,6,20(それぞれ大きさ, 脳平均 SAR に対応)の中から所望の設定を選び Set ボタンを押し。

読み込みが完了したら Baseband(Utility の上)を押し画面上の文字を消す (More など適当なキーでも可)。このとき、読み込み完了後に Mod が点灯し、Output が消灯していることを確認する。なお、データ読み込み中に Output が点灯するが、アクセスランプとしての機能であり電波は出力されていない。

- (3) シールドルーム内のアンプ(背面→前面)、パワーメータ、ばく露箱のファン 2 つの電源を入れる。アンプを冷やすための扇風機の電源も入れる。出力を安定させるため、ばく露開始予定時刻の 30 分前にはアンプの電源を入れておく。
- (4) ラットを配置する。ラットは約 320~360 g で 10 匹配置(ラットモデルを含む)とする。
- (5) ばく露箱、シールドルームの扉をしっかりと閉じる。
- (6) 信号発生器の Output ボタンを押しばく露を開始する。
- (7) 信号発生器の level 表示やパワーメータの表示を、表 1 を参考に確認し記録する。
- (8) ばく露時間が終了したら、信号発生器の Output ボタンを押す。
- (9) 信号発生器、アンプ(前→後)、パワーメータ等の電源を切る。

### 2.3 漏洩電界の測定

ばく露実験中のシールドルームからの漏洩電界が規制値以下かどうか、スペクトルアナライザを用いて、シールドルーム扉の前で確認測定を行った。なお、スペクトルアナライザの RBW と VBW はそれぞれ 1kHz に設定した。図 6 に漏洩電界の測定風景、表 2 に各アンテナ入力電力に対するシールドルーム外の漏洩電界強度を示す。表から、たとえ信号発生器の最大設定値の-6.7dBm の場合でも漏洩電界は 11.43dB $\mu$ V/m であり、公衆ばく露規制値を下回ることがわかる。



図 6 漏洩電界の測定風景

表 2 漏洩電界測定結果

信号発生器設定値 dBm	漏洩電界 dBuV/m
-6.7	11.43
-20	9.05
-40	9.07

## 2.4 電波ばく露

ラットは購入から 7-14 日間飼育室で飼育したのち、ばく露を行った。ばく露は、妊娠 16 日目の午前中より開始して、ばく露後は速やかに飼育ケージに戻した。ばく露条件は前述のとおり、脳平均 SAR 2W/kg ならびに 6W/kg で 90 分間行った (図 7)。同様に sham 群も 90 分間小型電波暗室に固定した。ばく露後の確認では、すべてのラットはアクリル筒の中で固定されており、頭部の移動は認められなかった。電波ばく露は 2 回に分けて施行した。

周波数: 1.95 GHz  
 システム: W-CDMA  
 アンテナ: 1/41モノポール  
 曝露動物: SDラット(妊娠)  
 ばく露期間: 90分/回(単回)

電波ばく露: 妊娠16日, 90分/日

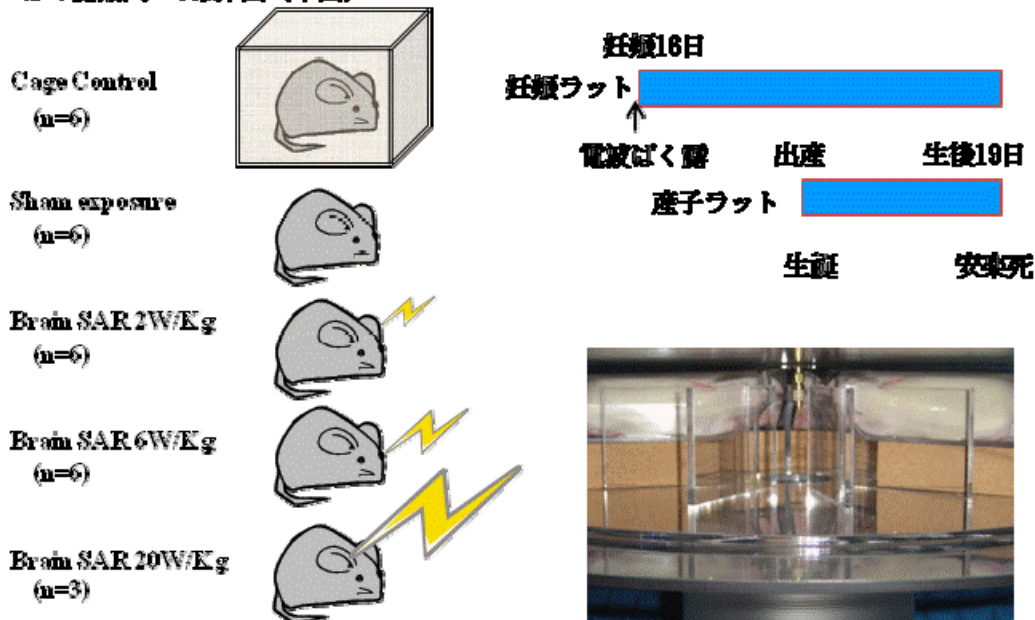


図 7 実験スケジュール

## 2.5 電波ばく露量のモニタリング

電波ばく露中の実際のばく露量は、ラットの寸法・体重・動きや増幅器の安定性な

どにより、設定目標値から多少変動することが予想される。このために、電力計を用いて、ばく露期間中の入射電力と反射電力を測定し、その差からアンテナへの入力電力を算出した。また、これにより得られた実際の脳平均 SAR のその目標値から誤差を求め、表 3 と 4 に示した。その結果、2 回のばく露ともに、ほぼ±10%以内の設定誤差で実施され、目標通りのばく露量のばく露が実施できたことがわかる。

表 3 電波ばく露量及びばく露誤差(1 回目)

ばく露量 設定	ばく露時間	目標脳平均 SAR	目標入力電 力	信号発生器 設定値	入射電力	反射電力	アンテナへ の入力電力	脳平均SAR	ばく露量 誤差
	h	W/kg	W	dBm	dBm	dBm	W	W/kg	%
340-BA2	0	2	1.47	-17.2	32.27	22.69	1.50	2.04	2.09
	30	2	1.47	-17.2	32.10	22.40	1.45	1.97	-1.49
	60	2	1.47	-17.2	32.01	22.96	1.39	1.89	-5.38
	80	2	1.47	-17.2	32.10	20.50	1.51	2.05	2.69
340-BA6	0	6	4.41	-12.4	36.96	26.60	4.51	6.13	2.24
	30	6	4.41	-12.4	36.86	26.24	4.43	6.03	0.50
	60	6	4.41	-12.4	36.65	26.18	4.21	5.73	-4.56
	80	6	4.41	-12.4	36.86	25.82	4.47	6.08	1.38
320-BA20	0	20	12.8	-7.9	41.42	30.84	12.65	19.77	-1.14
	30	20	12.8	-7.9	41.12	31.50	11.53	18.01	-9.93
	60	20	12.8	-7.9	41.08	31.72	11.34	17.71	-11.43
	80	20	12.8	-7.9	41.49	31.50	12.68	19.81	-0.93

表 4 電波ばく露量及びばく露誤差(2 回目)

ばく露量 設定	ばく露時間	目標脳平均 SAR	目標入力電 力	信号発生器 設定値	入射電力	反射電力	アンテナへ の入力電力	脳平均SAR	ばく露量 誤差
	h	W/kg	W	dBm	dBm	dBm	W	W/kg	%
320-BA2	0	2	1.28	-17.9	31.56	21.60	1.29	2.01	0.60
	30	2	1.28	-17.9	31.34	21.72	1.21	1.90	-5.25
	60	2	1.28	-17.9	31.36	21.90	1.21	1.90	-5.25
	85	2	1.28	-17.9	31.42	21.97	1.23	1.92	-3.96
320-BA6	0	6	3.84	-13.0	36.35	25.50	3.96	6.19	3.13
	30	6	3.84	-13.0	36.07	25.00	3.73	5.83	-2.88
	60	6	3.84	-13.0	36.45	25.83	4.03	6.30	5.02
	80	6	3.84	-13.0	36.00	25.70	3.61	5.64	-6.00

### 3 体重、体温測定

ばく露開始日(妊娠 16 日)から出産前の妊娠 20 日まで、2 日毎に体重測定を行った。

また、電波ばく露前後のラット直腸温を測定した。

### 4 検体の採取

ばく露後、検体採取のためにラットを屠殺した。屠殺までの期間は、出産後 19 日とした。まず、ラットをデシケーター内でエーテル吸入麻酔し、動きが鈍くなってからペントバルビタール 50mg/kg を腹腔内投与した。十分に麻酔深度を得た後、開腹・開胸

し、心腔採血にて末梢血液を採取した。右側の大腿骨、脛骨を摘出し、骨重量を測定したのち、リン酸緩衝液を髄腔内に注入して骨髓細胞を採取した。検体は、その抗原性を失わないためにできるだけ短期間に FACS 解析を行った。

## 5 評価方法

### 5.1 骨髓造血幹細胞の計測

ラット造血器の変化を観察するにあたり、骨髓中の造血幹細胞の計測を行った。ラットの骨髓造血幹細胞の同定については、FACS(fluorescence activated cell sorter)での手技による。1987年に McCrthy ら[11]は、細胞表面に Thy-1 というタンパク質をもつラット細胞に造血幹細胞が多く含まれていることを報告している。また、Opstelten ら[12]は、ラットの B リンパ系幼若細胞においても、細胞表面に Thy-1 を有することを報告している。これらより、Zhan ら[13, 14]は、Thy-1 に対する抗体とリンパ球分化抗原に対する抗体(CD3、CD45)を一次抗体として用いて、ラット骨髓から造血幹細胞を抽出している。

今回我々は、蛍光色素でそれぞれ標識された Thy-1、CD3、CD45 に対する抗体を用いて実験を行った (図 8)。FACS を用いて細胞毎に相対的大きさや形状、内部構造を解析し (図 9A)、リンパ球と顆粒球を除外した細胞群のなかから蛍光強度の違いを計測して、ラット骨髓幹細胞を多く含む細胞群(Thy-1 陽性、CD3 陰性、CD45 陰性の細胞群 (図 9B) )を同定した[13, 14]。データは骨髓細胞中の造血幹細胞存在比(%)として算出した。



図8 ラット骨髄細胞の実験手技

採取した骨髄細胞を 0.2%BSAinPBS で 2 回洗浄し、ウサギ血清を添加した後細胞数を調整した。これに抗体(Anti rat Thy-1-FITC (日本ベクトンディッキンソ); 1:50, Anti rat CD3-PE; 1:25 (日本ベクトンディッキンソ), Anti rat CD45-PE; 1:25 (日本ベクトンディッキンソ))を添加した後、混和し室温で 20 分間反応をさせた。その後、Lysing を添加して室温・10 分間反応させた後、遠心をして上清を除去した。沈さを 0.2%BSAinPBS で洗浄して上清を除去した後、細胞を浮遊させて測定をした。



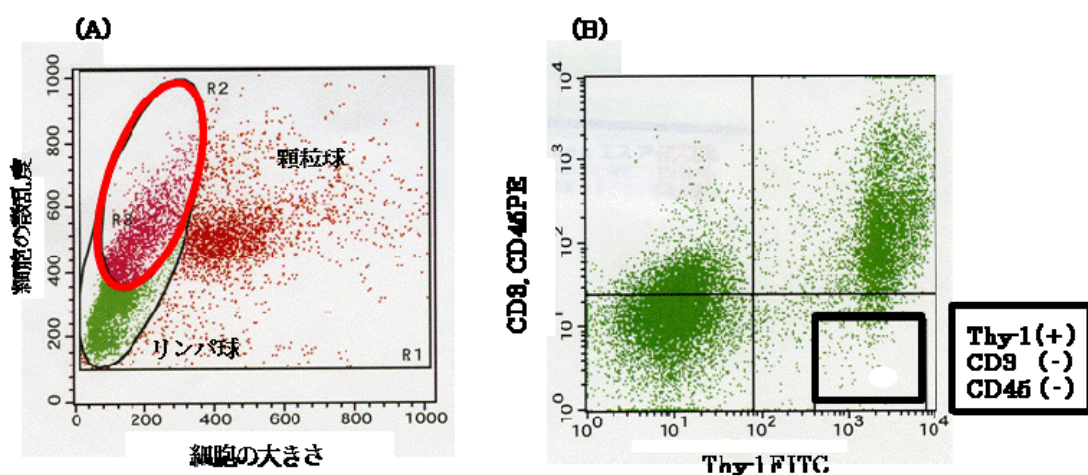


図9 FACSによるラット骨髄造血幹細胞の計測

(A) 細胞個々の大きさや散乱光のパターンから顆粒球、リンパ球を除き、骨髄単核細胞（赤、太線）を抽出した。(B) ラット骨髄幹細胞を多く含む細胞群(Thy-1 陽性、CD3 陰性、CD45 陰性の細胞群(黒、太線)を計測した。

## 5.2 末梢血の血液分画の計測

心腔採血により採取した血液を、自動血球計算機を用いて、末梢血の分画(白血球数、赤血球数、血小板数)を測定した。心腔採血施行時に血液の凝固が認められた 15 検体は、血球分画測定から除外した。

## 6 統計処理

骨髄細胞中の造血幹細胞存在比、末梢血分画の統計的解析は、JMP ver.8 (SAS Institute Inc.) により、ノンパラメトリック分析 (Mann-Whitney test, Kruskal-Wallis test) で行った。

## IV 試験結果

### 1 妊娠ラットの体重、体温変化

各群の妊娠ラットの体重変化を以下に示す（図 10）。ばく露箱での処置が行われた sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群の間には体重変化に有意な差を認めなかった。

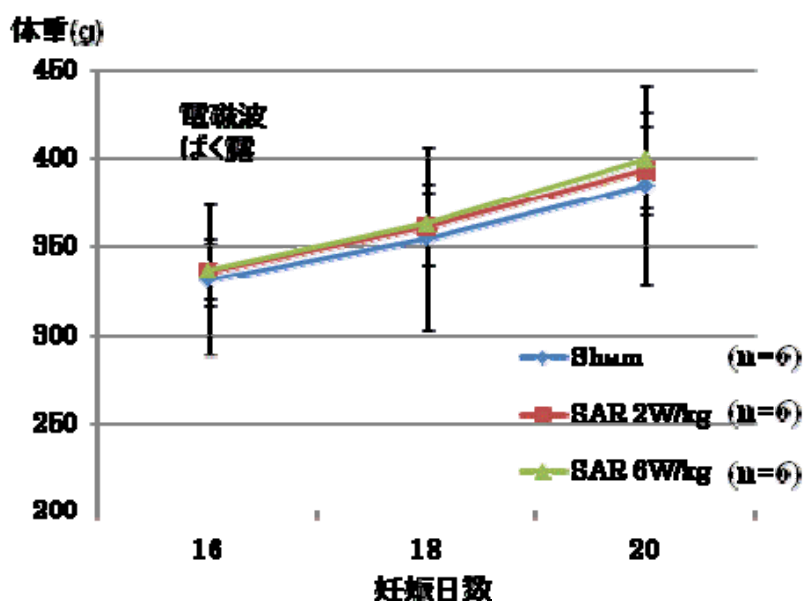


図 10 各群の妊娠ラットの体重変化

データは各測定日における各群の平均値、エラーバーは標準偏差を示す

各群の妊娠ラットの電波ばく露前後の体温変化を表 5 に示す。ばく露箱での処置が行われた sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群には体温変化を認めなかった。SAR 20W/kg 群では電波ばく露後の体温上昇を認めた。

表 5 各群の電波ばく露前後の直腸温変化(度)

群	直腸温(ばく露前)	直腸温(ばく露後)
Sham (n=6)	36.2 ± 0.18	36.3 ± 0.19
SAR 2W/kg (n=6)	36.2 ± 0.14	36.4 ± 0.19
SAR 6W/kg (n=6)	36.3 ± 0.14	36.5 ± 0.19
SAR 20W/kg (n=3)	36.1 ± 0.21	38.1 ± 0.36

データは各群の平均値 ± 標準偏差で示す

## 2 妊娠日数、産子数、性比

各群の妊娠日数、産子数、性比を表 6 に示す。ばく露箱での処置が行われた sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群の間には有意な差を認めなかった。

表 6 各群の妊娠日数、産子数、性比の変化

観察項目	Sham	SAR 2W/kg	SAR 6W/kg
妊娠日数	23.2 ± 0.8	22.8 ± 1.0	23.0 ± 0.6
産子数	12.1 ± 2.5	12.5 ± 2.1	12.2 ± 1.7
性比((雄/全数) x 100)	51.6 ± 13.9	46.8 ± 12.1	53.5 ± 14.8
奇形子数	0	0	0

データは各群の平均値 ± 標準偏差で示す

## 3. 産子ラットの体重、骨重量

各群の 19 日齢、産子ラットの体重を表 7 に示す。ばく露箱での処置が行われた sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群の間には有意な差を認めなかった。

表 7 各群の体重、骨重量の変化

観察項目	Sham (n=73)	SAR 2W/kg (n=75)	SAR 6W/kg (n=73)
体重(g)	44.2 ± 4.6	44.1 ± 4.4	45.2 ± 4.3
骨重量(大腿骨+脛骨; g)	0.45 ± 0.05	0.45 ± 0.04	0.46 ± 0.04

データは各群の平均値 ± 標準偏差で示す

## 4. 骨髄造血幹細胞への影響

まず、cage-control 群ならびに positive control としての SAR 20W/Kg 群でのラット骨髄造血幹細胞の変化を表 8 に提示する。Cage-control 群と比して、SAR 20W/Kg 群の骨髄細胞中の造血幹細胞存在比に有意な増加を認めた。

表 8 Cage-control 群と SAR 20W/Kg のラット骨髄細胞中の造血幹細胞

(Thy-1 陽性, CD3 陰性, CD45 陰性)の存在比

群	造血幹細胞の存在比 (%)
Cage-control (n=68)	0.11 ± 0.06
SAR 20W/kg (n=29)	0.16 ± 0.04 *

データは各群の平均値 ± 標準偏差で示す \* p<0.05 Mann-Whitney U test

次に、これらのコントロール群と同様の変化が、sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群に認められるか検討を行った(図 11)。Sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群の間で、ラット骨髄細胞中の造血幹細胞(Thy-1 陽性, CD3 陰性, CD45 陰性)存在比の変化は認めなかった。

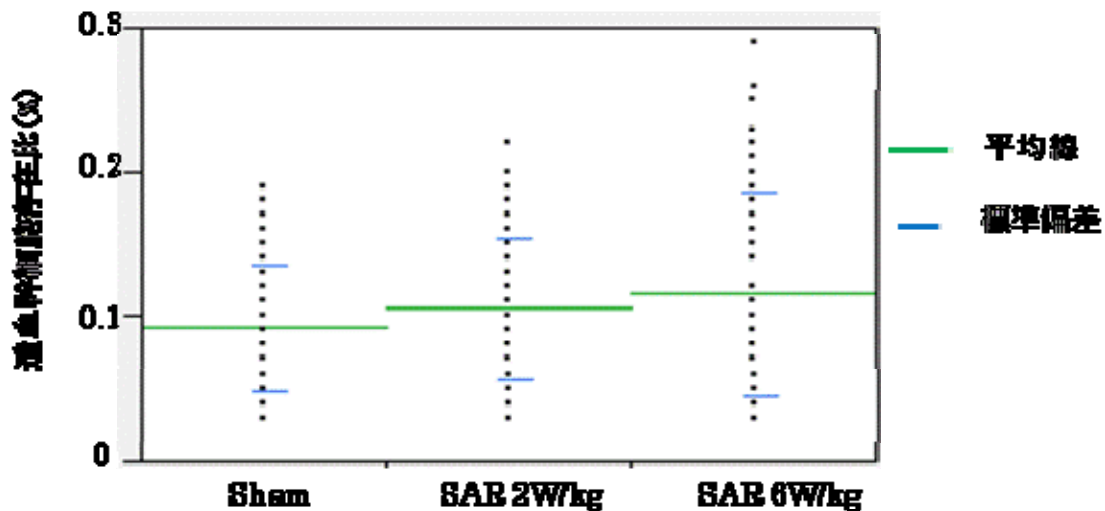


図 11 各群のラット骨髄細胞中の造血幹細胞(Thy-1 陽性, CD3 陰性, CD45 陰性)の存在比

## 5. 末梢血分画への影響

まず、cage-control 群ならびに positive control としての SAR 20W/Kg 群でのラット末梢血分画の変化を表 9 に提示する。Cage-control 群と比して、SAR 20W/Kg 群の末梢血中の赤血球数に有意な減少を認めた。

表 9 Cage-control 群と SAR 20W/Kg のラット末梢血分画の変化

群	白血球数 ( $\times 10^2/\mu\text{l}$ )	赤血球数 ( $\times 10^4/\mu\text{l}$ )	血小板数 ( $\times 10^4/\mu\text{l}$ )
Cage-control (n=68)	32.1 $\pm$ 13.7	448.6 $\pm$ 20.6	78.8 $\pm$ 14.7
SAR 20W/kg (n=29)	35.4 $\pm$ 14.4	437.3 $\pm$ 19.7*	84.7 $\pm$ 17.2

データは各群の平均値  $\pm$  標準偏差で示す \*  $p < 0.05$  Mann-Whitney U test

次に、これらのコントロール群と同様の変化が、sham 群、SAR 2W/kg 群、SAR 6W/kg 群に認められるか検討を行った。Sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群の間で、ラット末梢血の白血球数(図 12)、赤血球数(図 13)、血小板数(図 14)の変化は認めなかった。

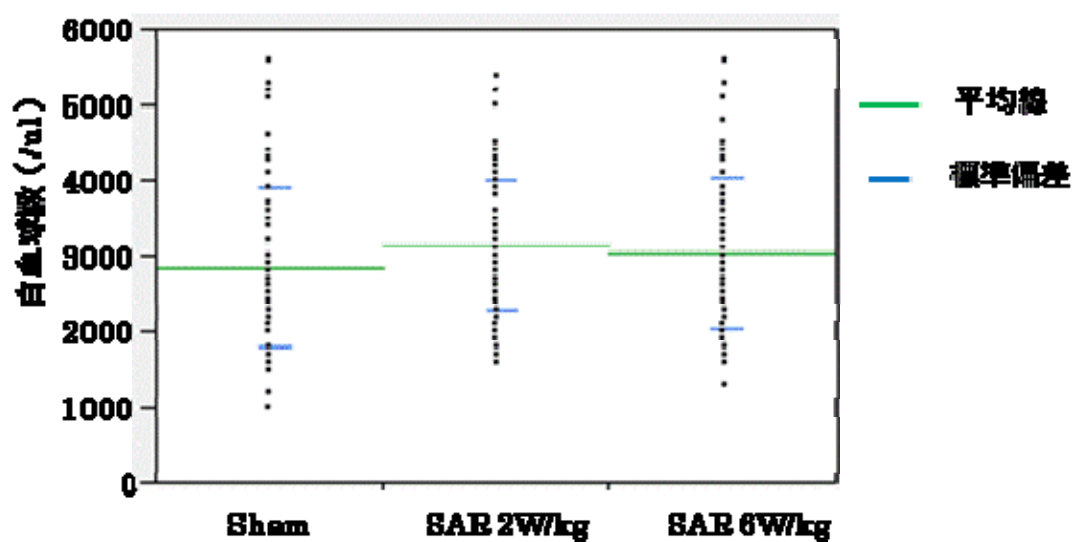


図 12 各群のラット末梢血中の白血球数の変化

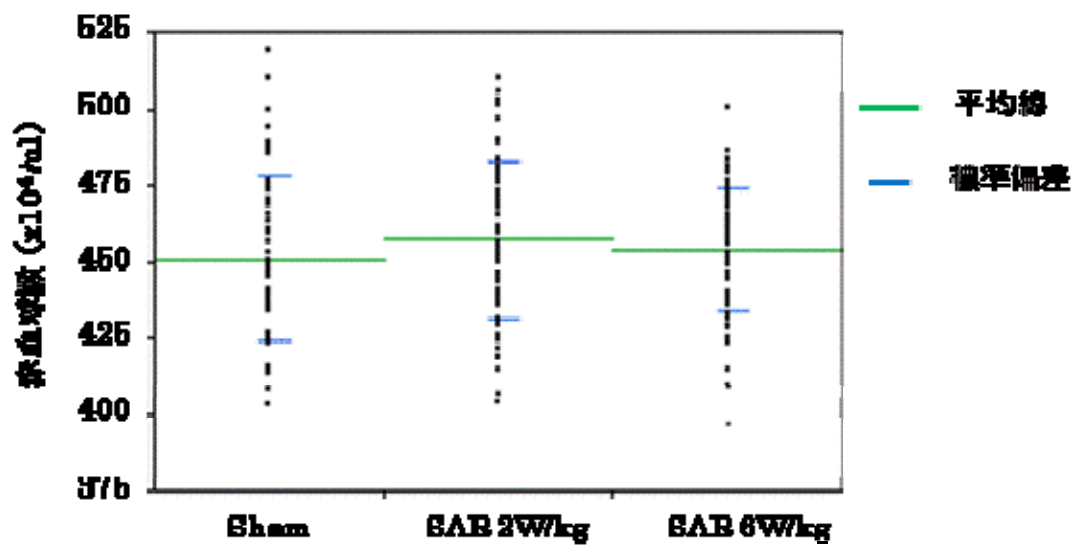


図 13 各群のラット末梢血中の赤血球数の変化

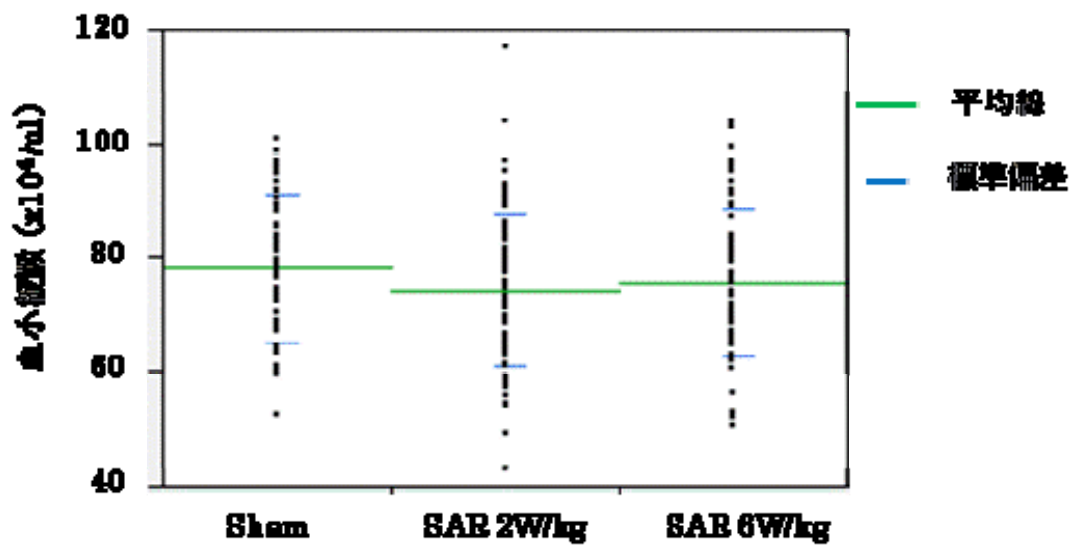


図 14 各群のラット末梢血中の血小板数の変化

## 6. 実測データの付記

### 6.1 妊娠ラットの体重、体温データ

表 10 実験期間中のラットの体重(g)および各群での平均値(g)

Cage-control	day16(電波ばく露)	day18	day20
No 1	358	394	440
No 2	336	375	402
No 3	295	330	352
No 4	385	410	445
No 5	294	320	334
No 6	300	340	368
平均	328.0	361.5	390.2

Sham	day16(電波ばく露)	day18	day20
No 1	356	380	422
No 2	335	350	376
No 3	316	335	372
No 4	400	445	475
No 5	280	300	315
No 6	300	318	348
平均	331.2	354.7	384.7

SAR 2W/kg	day16(電波ばく露)	day18	day20
No 1	365	384	432
No 2	342	370	398
No 3	320	332	364
No 4	348	380	408
No 5	325	355	382
No 6	316	345	376
平均	336.0	361.0	393.3

SAR 6W/kg	day16(電波ばく露)	day18	day20
No 1	352	396	434
No 2	344	360	404
No 3	334	356	398
No 4	350	382	420
No 5	328	350	384
No 6	310	332	356
平均	336.3	362.7	399.3

SAR 20W/kg	day16(電波ばく露)	day18	day20
No 1	346	356	406
No 2	344	346	394
No 3	292	316	340
平均	327.3	339.3	380.0

表 11 電波ばく露前後のラット体温(直腸温、度)

Sham	電波ばく露前	電波ばく露後
No 1	36.1	36.3
No 2	36.3	36.5
No 3	35.9	36.0
No 4	36.3	36.4
No 5	36.1	36.1
No 6	36.4	36.4

SAR 2W/kg	電波ばく露前	電波ばく露後
No 1	36.3	36.4
No 2	36.0	36.0
No 3	36.2	36.5
No 4	36.2	36.3
No 5	36.4	36.4
No 6	36.3	36.5

SAR 6W/kg	電波ばく露前	電波ばく露後
No 1	36.2	36.3
No 2	36.3	36.7
No 3	36.5	36.5
No 4	36.3	36.4
No 5	36.2	36.2
No 6	36.5	36.6

SAR 20W/kg	電波ばく露前	電波ばく露後
No 1	36.0	38.5
No 2	35.9	38.0
No 3	36.3	37.8

## 6.2 出産に関するデータ

表 12 ラットの妊娠日数、産子数、性比((雄/全数) x 100)



Cage-control	妊娠日数	産子数	性比
No 1	22	12	41.7
No 2	24	13	61.5
No 3	24	11	63.6
No 4	23	11	36.3
No 5	23	9	33.3
No 6	24	12	33.3
平均	23.3	11.3	44.6

Sham	妊娠日数	産子数	性比
No 1	22	15	33.3
No 2	23	10	30.0
No 3	24	12	66.6
No 4	22	15	60.0
No 5	24	9	44.4
No 6	24	12	75.0
平均	23.2	12.1	51.5

SAR 2W/kg	妊娠日数	産子数	性比
No 1	22	16	62.5
No 2	23	13	53.8
No 3	24	11	54.5
No 4	22	13	38.4
No 5	23	10	30.0
No 6	23	12	41.7
平均	22.8	12.5	46.8

SAR 6W/kg	妊娠日数	産子数	性比
No 1	22	14	42.9
No 2	23	11	72.7
No 3	24	13	38.4
No 4	23	14	42.9
No 5	23	11	54.5
No 6	23	10	70.0
平均	23.0	12.2	53.6

SAR 20W/kg	妊娠日数	産子数	性比
No 1	22	10	40.0
No 2	22	14	28.6
No 3	24	5	60.0
平均	22.7	9.7	42.9

### 6.3 19日齢、産子ラットの体重, 骨重量データ

表 13 産子ラット(19日齢)の性、体重(g)、骨重量(g)

Cage-control				
親ラットNo	産子ラットNo	性	体重	骨重量(大腿骨+脛骨)
1	1	♂	46.9	0.50
1	2	♂	46.9	0.48
1	3	♀	44.8	0.47
1	4	♂	44.0	0.49
1	5	♂	39.5	0.40
1	6	♀	39.0	0.42
1	7	♂	39.5	0.50
1	8	♀	45.0	0.45
1	9	♀	45.1	0.42
1	10	♀	46.1	0.45
1	11	♀	43.7	0.40
1	12	♀	47.4	0.40
2	1	♂	47.0	0.49
2	2	♂	44.9	0.45
2	3	♀	42.3	0.43
2	4	♂	46.8	0.44
2	5	♀	49.8	0.50
2	6	♀	37.5	0.42
2	7	♂	48.7	0.46
2	8	♀	45.8	0.50
2	9	♂	43.1	0.38
2	10	♂	48.9	0.48
2	11	♂	43.7	0.42
2	12	♂	45.0	0.44
2	13	♀	45.6	0.45
3	1	♂	54.6	0.56
3	2	♂	52.4	0.55
3	3	♂	48.4	0.56
3	4	♀	47.5	0.54
3	5	♂	50.6	0.50
3	6	♀	46.3	0.45
3	7	♂	48.7	0.48
3	8	♂	50.3	0.53
3	9	♂	50.6	0.55
3	10	♀	47.0	0.50
3	11	♀	45.0	0.50
4	1	♂	43.2	0.45
4	2	♀	43.3	0.40
4	3	♀	37.8	0.38
4	4	♀	39.9	0.38

4	5	♀	39.6	0.48
4	6	♀	41.9	0.45
4	7	♂	44.8	0.48
4	8	♀	40.3	0.48
4	9	♂	39.0	0.43
4	10	♀	40.6	0.44
4	11	♂	37.4	0.36
5	1	♂	44.3	0.44
5	2	♀	44.4	0.44
5	3	♀	44.1	0.48
5	4	♀	44.5	0.43
5	5	♀	44.0	0.45
5	6	♂	45.3	0.46
5	7	♂	47.4	0.50
5	8	♀	47.4	0.49
5	9	♀	47.0	0.48
6	1	♀	45.4	0.50
6	2	♀	38.3	0.48
6	3	♂	45.7	0.45
6	4	♂	41.2	0.47
6	5	♂	44.5	0.47
6	6	♀	43.3	0.48
6	7	♀	41.4	0.42
6	8	♀	40.9	0.41
6	9	♀	46.5	0.45
6	10	♀	42.1	0.36
6	11	♀	35.6	0.38
6	12	♂	39.5	0.40

Sham					
親ラットNo	産子ラットNo	性	体重	骨重量(大腿骨+脛骨)	
1	1	♀	50.0	0.48	
1	2	♀	46.5	0.45	
1	3	♀	44.0	0.41	
1	4	♀	41.0	0.46	
1	5	♀	50.9	0.50	
1	6	♂	50.1	0.46	
1	7	♀	48.6	0.50	
1	8	♂	49.0	0.46	
1	9	♀	49.3	0.47	
1	10	♂	51.0	0.50	
1	11	♂	46.0	0.53	
1	12	♀	48.0	0.49	
1	13	♂	52.0	0.50	
1	14	♀	40.9	0.49	

1	15	♀	44.0	0.49
2	1	♀	43.2	0.45
2	2	♂	49.4	0.50
2	3	♀	46.0	0.49
2	4	♀	47.0	0.46
2	5	♀	46.0	0.46
2	6	♀	51.2	0.50
2	7	♂	51.2	0.50
2	8	♂	50.0	0.50
2	9	♀	49.2	0.55
2	10	♀	50.0	0.48
3	1	♂	50.6	0.48
3	2	♂	45.6	0.49
3	3	♂	46.6	0.50
3	4	♀	47.0	0.45
3	5	♀	47.0	0.50
3	6	♀	46.0	0.40
3	7	♀	46.8	0.45
3	8	♂	44.4	0.45
3	9	♂	47.8	0.48
3	10	♂	48.1	0.50
3	11	♂	46.6	0.55
3	12	♂	45.0	0.49
4	1	♀	39.1	0.38
4	2	♂	40.5	0.40
4	3	♀	35.5	0.37
4	4	♀	32.2	0.35
4	5	♀	34.0	0.36
4	6	♂	38.5	0.41
4	7	♂	41.7	0.42
4	8	♂	36.4	0.39
4	9	♂	37.8	0.39
4	10	♂	38.5	0.39
4	11	♀	33.8	0.37
4	12	♂	40.8	0.39
4	13	♂	39.8	0.36
4	14	♂	34.6	0.37
4	15	♀	42.3	0.44
5	1	♀	41.1	0.48
5	2	♂	40.7	0.40
5	3	♀	46.5	0.42
5	4	♂	44.3	0.44
5	5	♂	44.7	0.46
5	6	♀	42.6	0.46

5	7	♀	41.9	0.44
5	8	♀	42.0	0.40
5	9	♂	44.0	0.44
6	1	♀	42.5	0.44
6	2	♂	45.1	0.48
6	3	♂	44.9	0.44
6	4	♂	45.0	0.45
6	5	♂	40.4	0.44
6	6	♂	43.5	0.40
6	7	♀	42.0	0.41
6	8	♀	40.4	0.44
6	9	♂	43.0	0.42
6	10	♂	42.1	0.43
6	11	♂	41.6	0.44
6	12	♂	44.5	0.48

SAR 2W/kg				
親ラットNo	産子ラットNo	性	体重	骨重量(大腿骨+脛骨)
1	1	♂	54.2	0.55
1	2	♀	47.5	0.45
1	3	♀	47.1	0.44
1	4	♀	44.2	0.44
1	5	♂	54.5	0.50
1	6	♀	52.0	0.47
1	7	♂	48.7	0.56
1	8	♀	45.1	0.43
1	9	♂	54.3	0.47
1	10	♂	52.1	0.47
1	11	♂	51.2	0.50
1	12	♂	48.4	0.46
1	13	♀	47.8	0.47
1	14	♂	52.8	0.48
1	15	♂	51.5	0.49
1	16	♂	50.4	0.53
2	1	♂	45.9	0.48
2	2	♀	43.0	0.47
2	3	♂	44.1	0.44
2	4	♂	44.7	0.46
2	5	♀	38.8	0.40
2	6	♀	42.1	0.45
2	7	♀	42.4	0.47
2	8	♂	42.3	0.43
2	9	♂	44.1	0.46

2	10	♀	42.9	0.50
2	11	♂	43.6	0.49
2	12	♀	44.0	0.45
2	13	♂	44.7	0.45
3	1	♀	51.9	0.47
3	2	♂	37.3	0.38
3	3	♂	46.0	0.50
3	4	♂	39.5	0.41
3	5	♀	40.8	0.43
3	6	♀	44.0	0.46
3	7	♂	44.0	0.45
3	8	♂	41.5	0.44
3	9	♂	38.0	0.37
3	10	♀	45.0	0.45
3	11	♀	52.0	0.48
4	1	♀	44.4	0.43
4	2	♀	45.6	0.44
4	3	♀	44.5	0.40
4	4	♂	42.1	0.43
4	5	♀	42.6	0.45
4	6	♂	45.2	0.41
4	7	♀	44.1	0.44
4	8	♀	34.8	0.39
4	9	♂	42.7	0.50
4	10	♂	44.9	0.44
4	11	♂	39.5	0.40
4	12	♀	42.5	0.42
4	13	♀	45.5	0.43
5	1	♂	42.5	0.43
5	2	♀	44.4	0.43
5	3	♂	44.3	0.51
5	4	♀	40.0	0.45
5	5	♂	36.6	0.37
5	6	♀	37.6	0.39
5	7	♀	43.5	0.43
5	8	♀	38.2	0.40
5	9	♀	42.4	0.45
5	10	♀	42.4	0.42
6	1	♂	40.3	0.43
6	2	♂	42.4	0.43
6	3	♂	42.0	0.47
6	4	♀	40.8	0.40
6	5	♀	41.7	0.42
6	6	♀	37.1	0.35

6	7	♀	40.4	0.42
6	8	♀	42.7	0.45
6	9	♀	41.3	0.40
6	10	♀	41.3	0.41
6	11	♂	42.6	0.50
6	12	♂	40.7	0.42

SAR 6W/kg				
親ラットNo	産子ラットNo	性	体重	骨重量(大腿骨+脛骨)
1	1	♂	54.2	0.53
1	2	♂	51.8	0.55
1	3	♀	54.4	0.53
1	4	♂	54.5	0.55
1	5	♀	48.1	0.46
1	6	♀	49.3	0.48
1	7	♂	52.3	0.49
1	8	♀	51.6	0.48
1	9	♀	49.7	0.53
1	10	♂	52.9	0.53
1	11	♀	50.2	0.48
1	12	♀	51.2	0.48
1	13	♀	48.5	0.50
1	14	♂	46.4	0.52
2	1	♂	48.2	0.45
2	2	♀	40.5	0.37
2	3	♂	47.0	0.47
2	4	♂	44.0	0.43
2	5	♂	45.7	0.53
2	6	♀	48.9	0.44
2	7	♀	42.0	0.47
2	8	♂	43.0	0.47
2	9	♂	41.0	0.43
2	10	♂	43.0	0.48
2	11	♂	47.0	0.50
3	1	♂	48.8	0.50
3	2	♀	44.0	0.42
3	3	♂	34.5	0.40
3	4	♀	47.0	0.42
3	5	♂	45.7	0.47
3	6	♀	39.0	0.34
3	7	♀	46.4	0.45
3	8	♀	47.6	0.46
3	9	♂	49.0	0.50

3	10	♂	45.0	0.50
3	11	♀	43.6	0.44
3	12	♀	46.8	0.50
3	13	♀	43.0	0.43
4	1	♀	44.2	0.50
4	2	♀	47.9	0.50
4	3	♂	46.0	0.48
4	4	♀	47.0	0.45
4	5	♂	45.0	0.46
4	6	♀	46.2	0.44
4	7	♀	42.6	0.42
4	8	♀	41.9	0.43
4	9	♀	41.8	0.48
4	10	♂	49.2	0.50
4	11	♂	45.0	0.45
4	12	♂	44.5	0.46
4	13	♀	41.8	0.45
4	14	♂	43.8	0.40
5	1	♀	45.4	0.46
5	2	♂	41.8	0.44
5	3	♂	44.0	0.46
5	4	♀	42.8	0.40
5	5	♀	38.1	0.43
5	6	♂	34.3	0.35
5	7	♀	39.7	0.37
5	8	♂	42.9	0.40
5	9	♂	44.6	0.45
5	10	♀	43.7	0.45
5	11	♂	42.8	0.47
6	1	♀	45.0	0.47
6	2	♀	41.7	0.40
6	3	♂	43.0	0.44
6	4	♂	47.0	0.46
6	5	♀	42.1	0.40
6	6	♂	46.0	0.48
6	7	♂	42.1	0.43
6	8	♂	33.4	0.40
6	9	♂	44.7	0.45
6	10	♂	42.2	0.43

SAR 20W/kg				
親ラットNo	産子ラットNo	性	体重	骨重量(大腿骨+脛骨)
1	1	♀	45.0	0.38



1	2	♀	43.9	0.49
1	3	♂	48.0	0.50
1	4	♂	44.1	0.41
1	5	♀	50.0	0.49
1	6	♂	50.0	0.50
1	7	♂	48.4	0.43
1	8	♀	39.1	0.40
1	9	♀	45.0	0.50
1	10	♀	44.0	0.45
2	1	♀	44.9	0.46
2	2	♀	43.1	0.45
2	3	♀	41.0	0.43
2	4	♀	48.0	0.53
2	5	♂	45.8	0.50
2	6	♀	42.5	0.41
2	7	♀	43.2	0.43
2	8	♀	40.4	0.45
2	9	♂	46.0	0.48
2	10	♀	45.6	0.46
2	11	♂	49.4	0.48
2	12	♀	43.1	0.44
2	13	♂	43.2	0.48
2	14	♀	43.9	0.46
3	1	♂	52.7	0.48
3	2	♀	55.8	0.55
3	3	♂	53.3	0.47
3	4	♀	54.7	0.47
3	5	♂	54.3	0.52

#### 6.4 骨髄幹細胞数のデータ

表 14 産子ラット(19日齢)の骨髄造血幹細胞の存在比(%)

Cage-control			
親ラットNo	産子ラットNo	骨髄造血幹細胞	存在比
1	1		0.16
1	2		0.17
1	3		0.12
1	4		0.12
1	5		0.19
1	6		0.17
1	7		0.15
1	8		0.14
1	9		0.25
1	10		0.13
1	11		0.11

1	12	0.17
2	1	0.10
2	2	0.13
2	3	0.15
2	4	0.13
2	5	0.12
2	6	0.10
2	7	0.09
2	8	0.08
2	9	0.15
2	10	0.15
2	11	0.12
2	12	0.14
2	13	0.11
3	1	0.18
3	2	0.14
3	3	0.12
3	4	0.10
3	5	0.16
3	6	0.12
3	7	0.19
3	8	0.22
3	9	0.14
3	10	0.18
3	11	0.20
4	1	0.17
4	2	0.28
4	3	0.08
4	4	0.09
4	5	0.06
4	6	0.05
4	7	0.06
4	8	0.07
4	9	0.18
4	10	0.06
4	11	0.12
5	1	0.04
5	2	0.05
5	3	0.04
5	4	0.05
5	5	0.05
5	6	0.04
5	7	0.04
5	8	0.04
5	9	0.03
6	1	0.04
6	2	0.05

6	3	0.06
6	4	0.03
6	5	0.04
6	6	0.04
6	7	0.06
6	8	0.11
6	9	0.07
6	10	0.05
6	11	0.07
6	12	0.08

Sham		
親ラットNo	産子ラットNo	骨髓造血幹細胞 存在比
1	1	0.13
1	2	0.13
1	3	0.14
1	4	0.15
1	5	0.09
1	6	0.14
1	7	0.08
1	8	0.09
1	9	0.07
1	10	0.07
1	11	0.09
1	12	0.12
1	13	0.11
1	14	0.08
1	15	0.09
2	1	0.10
2	2	0.13
2	3	0.16
2	4	0.10
2	5	0.13
2	6	0.12
2	7	0.14
2	8	0.11
2	9	0.09
2	10	0.10
3	1	0.19
3	2	0.15
3	3	0.14
3	4	0.18
3	5	0.16
3	6	0.18
3	7	0.13
3	8	0.11

3	9	0.17
3	10	0.16
3	11	0.13
3	12	0.13
4	1	0.04
4	2	0.04
4	3	0.04
4	4	0.04
4	5	0.04
4	6	0.03
4	7	0.04
4	8	0.05
4	9	0.05
4	10	0.05
4	11	0.04
4	12	0.05
4	13	0.06
4	14	0.03
4	15	0.04
5	1	0.06
5	2	0.06
5	3	0.05
5	4	0.05
5	5	0.11
5	6	0.12
5	7	0.06
5	8	0.06
5	9	0.06
6	1	0.03
6	2	0.05
6	3	0.07
6	4	0.05
6	5	0.05
6	6	0.04
6	7	0.10
6	8	0.10
6	9	0.12
6	10	0.09
6	11	0.09
6	12	0.07

SAR 2W/kg			
親ラットNo	産子ラットNo	骨髓造血幹細胞	存在比
1	1		0.16
1	2		0.15
1	3		0.11

1	4	0.12
1	5	0.11
1	6	0.11
1	7	0.12
1	8	0.22
1	9	0.19
1	10	0.18
1	11	0.15
1	12	0.13
1	13	0.15
1	14	0.11
1	15	0.18
1	16	0.20
2	1	0.06
2	2	0.08
2	3	0.10
2	4	0.16
2	5	0.10
2	6	0.08
2	7	0.08
2	8	0.11
2	9	0.08
2	10	0.10
2	11	0.08
2	12	0.11
2	13	0.09
3	1	0.11
3	2	0.18
3	3	0.19
3	4	0.22
3	5	0.14
3	6	0.19
3	7	0.13
3	8	0.12
3	9	0.14
3	10	0.17
3	11	0.12
4	1	0.12
4	2	0.07
4	3	0.12
4	4	0.10
4	5	0.14
4	6	0.07
4	7	0.07
4	8	0.08
4	9	0.10
4	10	0.06

4	11	0.10
4	12	0.07
4	13	0.10
5	1	0.10
5	2	0.07
5	3	0.07
5	4	0.06
5	5	0.16
5	6	0.06
5	7	0.05
5	8	0.04
5	9	0.05
5	10	0.08
6	1	0.07
6	2	0.04
6	3	0.05
6	4	0.03
6	5	0.04
6	6	0.04
6	7	0.03
6	8	0.06
6	9	0.08
6	10	0.05
6	11	0.04
6	12	0.04

SAR 6W/kg		
親ラットNo	産子ラットNo	骨髓造血幹細胞 存在比
1	1	0.21
1	2	0.14
1	3	0.29
1	4	0.32
1	5	0.22
1	6	0.23
1	7	0.16
1	8	0.17
1	9	0.19
1	10	0.19
1	11	0.26
1	12	0.21
1	13	0.21
1	14	0.20
2	1	0.16
2	2	0.12
2	3	0.12
2	4	0.19

2	5	0.15
2	6	0.06
2	7	0.09
2	8	0.21
2	9	0.17
2	10	0.23
2	11	0.25
3	1	0.10
3	2	0.11
3	3	0.07
3	4	0.10
3	5	0.08
3	6	0.14
3	7	0.10
3	8	0.14
3	9	0.15
3	10	0.10
3	11	0.07
3	12	0.04
3	13	0.12
4	1	0.06
4	2	0.05
4	3	0.03
4	4	0.03
4	5	0.05
4	6	0.06
4	7	0.04
4	8	0.03
4	9	0.04
4	10	0.05
4	11	0.04
4	12	0.05
4	13	0.06
4	14	0.08
5	1	0.06
5	2	0.06
5	3	0.08
5	4	0.18
5	5	0.04
5	6	0.04
5	7	0.07
5	8	0.08
5	9	0.06
5	10	0.08
5	11	0.12
6	1	0.08
6	2	0.08

6	3	0.09
6	4	0.09
6	5	0.08
6	6	0.10
6	7	0.08
6	8	0.05
6	9	0.07
6	10	0.07

SAR 20W/kg		
親ラットNo	産子ラットNo	骨髓造血幹細胞 存在比
1	1	0.20
1	2	0.13
1	3	0.26
1	4	0.20
1	5	0.13
1	6	0.13
1	7	0.25
1	8	0.15
1	9	0.11
1	10	0.20
2	1	0.16
2	2	0.16
2	3	0.21
2	4	0.19
2	5	0.20
2	6	0.12
2	7	0.11
2	8	0.12
2	9	0.12
2	10	0.13
2	11	0.13
2	12	0.12
2	13	0.11
2	14	0.10
3	1	0.17
3	2	0.13
3	3	0.16
3	4	0.13
3	5	0.18



## 6.5 末梢血の血液分画のデータ

表 15 産子ラット(19日齢)の白血球数( $\mu\text{l}$ )、赤血球数( $\times 10^4/\mu\text{l}$ )、血小板数( $\times 10^4/\mu\text{l}$ )

Cage-control				
親ラットNo	産子ラットNo	白血球数	赤血球数	血小板数
1	1	凝固	凝固	凝固
1	2	5000	427	107.2
1	3	3000	439	83.0
1	4	3800	437	89.6
1	5	6400	450	100.7
1	6	3000	454	80.2
1	7	3700	461	97.5
1	8	2600	428	86.3
1	9	1800	409	90.3
1	10	4500	464	85.2
1	11	7500	462	91.3
1	12	4200	425	115.1
2	1	凝固	凝固	凝固
2	2	4300	436	78.2
2	3	3600	436	60.5
2	4	5100	434	60.5
2	5	2900	433	56.1
2	6	3500	446	64.9
2	7	4800	463	65.1
2	8	5300	422	48.9
2	9	3000	485	65.6
2	10	4500	397	57.3
2	11	5000	443	56.2
2	12	4400	457	61.3
2	13	2500	426	55.7
3	1	4400	409	83.9
3	2	1500	412	62.4
3	3	5200	436	75.8
3	4	3800	457	71.3
3	5	2500	427	72.2
3	6	2500	468	73.2
3	7	1700	445	83.4
3	8	2300	440	69.6
3	9	1200	420	80.2
3	10	1500	437	77.8
3	11	1300	427	84.1
4	1	2100	450	99.6
4	2	1900	453	93.2
4	3	1900	441	89.9
4	4	2100	446	73.9
4	5	2600	445	98.8
4	6	3100	445	74.3

4	7	2500	478	114.0
4	8	2200	453	101.5
4	9	2400	463	101.3
4	10	4200	459	90.8
4	11	3600	461	95.8
5	1	2200	419	65.2
5	2	3100	457	85.6
5	3	3000	441	76.3
5	4	2600	464	75.6
5	5	2700	450	60.5
5	6	2300	477	75.6
5	7	1800	460	69.5
5	8	3200	450	83.9
5	9	1600	444	87.4
6	1	3700	457	79.9
6	2	3300	456	77.4
6	3	1900	464	85.7
6	4	2800	488	75.0
6	5	5000	496	89.0
6	6	2800	458	73.4
6	7	2400	476	66.3
6	8	4400	486	73.4
6	9	5600	455	64.6
6	10	3400	450	66.1
6	11	2300	469	71.4
6	12	4100	487	76.7

Sham				
親ラットNo	産子ラットNo	白血球数	赤血球数	血小板数
1	1	2300	434	73.2
1	2	5100	488	94.6
1	3	2300	449	77.5
1	4	2500	445	78.7
1	5	3600	461	59.5
1	6	凝固	凝固	凝固
1	7	2200	415	63.3
1	8	1000	403	68.2
1	9	凝固	凝固	凝固
1	10	5200	457	77.9
1	11	4300	466	88.1
1	12	2200	459	67.4
1	13	2000	447	86.0
1	14	2400	453	72.4
1	15	2100	460	101.0
2	1	2800	463	92.2
2	2	5600	469	128.6

2	3	3200	416	95.1
2	4	3900	471	89.0
2	5	1600	436	98.6
2	6	4600	448	82.7
2	7	4400	440	88.6
2	8	2000	426	93.4
2	9	3500	425	88.6
2	10	3700	425	96.1
3	1	1700	434	63.4
3	2	2300	434	52.4
3	3	3500	426	68.1
3	4	2500	453	67.1
3	5	2800	436	63.0
3	6	1800	423	73.6
3	7	2800	445	70.5
3	8	1600	471	81.0
3	9	2200	457	68.2
3	10	2500	424	60.0
3	11	1200	441	77.7
3	12	凝固	凝固	凝固
4	1	2500	486	84.2
4	2	2900	486	67.7
4	3	3400	459	60.7
4	4	3000	475	74.2
4	5	1800	440	97.0
4	6	2500	489	90.6
4	7	5300	453	64.9
4	8	3200	527	77.0
4	9	2000	519	81.2
4	10	1800	459	88.1
4	11	1600	434	78.3
4	12	2700	475	78.4
4	13	1500	500	79.7
4	14	2600	510	77.2
4	15	2900	473	73.3
5	1	3400	427	66.9
5	2	4400	477	83.1
5	3	1600	437	78.8
5	4	5100	436	95.8
5	5	2700	451	64.4
5	6	4100	494	92.2
5	7	2100	487	89.5
5	8	3000	438	74.8
5	9	2300	466	77.9
6	1	2400	413	67.4
6	2	2100	415	76.6
6	3	2200	408	77.2

6	4	2200	426	67.9
6	5	3500	425	63.8
6	6	4400	427	73.0
6	7	2900	440	60.6
6	8	3500	466	80.7
6	9	2400	457	81.6
6	10	2500	461	70.2
6	11	3400	414	68.7
6	12	2100	436	85.5

SAR 2W/kg				
親ラットNo	産子ラットNo	白血球数	赤血球数	血小板数
1	1	1800	453	58.2
1	2	4100	461	58.2
1	3	4200	419	54.5
1	4	5400	439	69.0
1	5	2400	429	63.4
1	6	3800	459	57.2
1	7	4300	430	62.6
1	8	3400	424	43.1
1	9	4000	455	54.4
1	10	2400	445	55.8
1	11	2700	439	65.3
1	12	2900	436	69.4
1	13	2300	426	60.8
1	14	2500	422	66.2
1	15	2600	404	57.8
1	16	1900	457	58.8
2	1	3100	476	83.4
2	2	2900	429	63.8
2	3	2500	459	49.5
2	4	2800	461	72.1
2	5	3000	462	79.5
2	6	2200	426	71.3
2	7	2300	476	83.4
2	8	2200	443	79.8
2	9	2100	451	71.1
2	10	凝固	凝固	凝固
2	11	1700	476	68.5
2	12	凝固	凝固	凝固
2	13	1600	473	85.8
3	1	5200	468	90.1
3	2	3400	477	85.1
3	3	2800	450	64.2
3	4	3500	503	93.0
3	5	凝固	凝固	凝固

3	6	2600	457	90.9
3	7	3400	441	81.0
3	8	凝固	凝固	凝固
3	9	2400	502	79.2
3	10	4200	466	74.5
3	11	4400	461	75.0
4	1	3600	452	80.6
4	2	5000	437	89.5
4	3	3900	432	78.3
4	4	凝固	凝固	凝固
4	5	3000	415	69.8
4	6	4000	422	84.6
4	7	3500	451	64.3
4	8	4000	415	58.9
4	9	3200	451	82.9
4	10	3100	510	77.2
4	11	3200	483	71.5
4	12	3400	465	78.7
4	13	2900	407	75.7
5	1	4500	472	75.8
5	2	3500	490	61.3
5	3	3300	489	72.3
5	4	3000	478	66.7
5	5	2900	438	71.7
5	6	2600	447	71.8
5	7	3500	451	69.0
5	8	3300	454	72.8
5	9	2700	436	81.7
5	10	2000	478	69.3
6	1	3600	470	89.0
6	2	4100	483	86.3
6	3	2700	503	73.4
6	4	2000	490	104.0
6	5	2000	479	92.2
6	6	2500	469	126.1
6	7	2300	497	97.0
6	8	3200	461	76.0
6	9	2600	465	84.2
6	10	3500	484	79.3
6	11	4100	481	94.9
6	12	3400	506	116.9

SAR 6W/kg				
親ラットNo	産子ラットNo	白血球数	赤血球数	血小板数
1	1	2300	460	68.8
1	2	2900	447	64.8

1	3	4100	449	69.9
1	4	2700	447	66.8
1	5	1700	481	50.8
1	6	2000	456	62.0
1	7	1700	446	68.9
1	8	2500	459	60.4
1	9	1800	437	83.0
1	10	2800	447	67.1
1	11	1800	438	74.4
1	12	1800	481	66.6
1	13	1600	457	67.3
1	14	2200	415	71.2
2	1	3600	463	84.2
2	2	3700	397	81.3
2	3	3500	452	95.2
2	4	3200	436	56.3
2	5	4500	469	79.2
2	6	3000	440	104.1
2	7	3400	501	80.2
2	8	4100	432	71.9
2	9	2900	474	62.1
2	10	2600	439	83.3
2	11	2800	465	103.2
3	1	5300	446	62.4
3	2	5600	450	69.5
3	3	凝固	凝固	凝固
3	4	3600	425	70.2
3	5	4800	473	70.1
3	6	3800	462	52.0
3	7	3800	458	52.8
3	8	1900	463	62.0
3	9	3600	446	67.1
3	10	2900	462	69.3
3	11	凝固	凝固	凝固
3	12	2600	451	62.9
3	13	2200	456	63.0
4	1	2700	479	71.2
4	2	3400	477	66.1
4	3	2700	457	82.5
4	4	4500	457	81.7
4	5	2800	475	75.6
4	6	4500	429	80.3
4	7	5100	449	62.6
4	8	3100	409	70.1
4	9	2500	466	66.9
4	10	4300	483	68.6
4	11	3200	460	73.4

4	12	2400	487	68.9
4	13	3700	461	76.5
4	14	凝固	凝固	凝固
5	1	2600	440	91.0
5	2	3700	474	88.8
5	3	4300	424	91.8
5	4	4400	428	76.1
5	5	3300	415	75.5
5	6	4400	483	77.0
5	7	3900	471	71.8
5	8	3200	453	81.8
5	9	3000	470	95.9
5	10	2000	423	76.9
5	11	2300	460	99.7
6	1	1300	484	93.3
6	2	2600	433	86.9
6	3	2400	472	96.7
6	4	2200	444	77.4
6	5	2100	468	65.4
6	6	2500	446	66.0
6	7	2100	460	92.2
6	8	1300	436	99.3
6	9	2100	465	99.2
6	10	2100	466	89.3

SAR 20W/kg				
親ラットNo	産子ラットNo	白血球数	赤血球数	血小板数
1	1	5900	402	86.8
1	2	4800	407	124.0
1	3	凝固	凝固	凝固
1	4	2700	426	103.5
1	5	4000	411	83.7
1	6	2500	438	101.1
1	7	6100	410	105.8
1	8	凝固	凝固	凝固
1	9	2300	436	92.9
1	10	5900	426	126.4
2	1	2500	442	73.2
2	2	4300	438	56.4
2	3	6500	473	71.3
2	4	3900	445	74.8
2	5	3400	439	70.4
2	6	3400	457	75.2
2	7	2600	475	85.5
2	8	2200	450	66.6
2	9	3000	447	71.8

2	10	4600	446	74.0
2	11	3700	454	73.1
2	12	4100	463	84.4
2	13	2300	439	62.7
2	14	3800	454	81.3
3	1	2100	415	78.5
3	2	2400	438	88.6
3	3	2600	408	78.2
3	4	2600	425	101.5
3	5	3500	443	95.9



## V 考察

携帯電話端末の契約数は、2011年1月現在1億1千万台以上に達しており(社団法人電気通信事業者協会)、日常生活に深く浸透している。それとともに、携帯電話端末使用における高周波電波の生体に対する影響については検討が重ねられてきた。携帯電話端末の使用において最も近接する脳組織は、記憶・判断などの高次機能だけでなく、さまざまなホルモン分泌機能を備え、また、自律神経の中枢でもある。このため、さまざまな観点から評価が繰り返され、これまでに我々は、血液脳関門(Blood-Brain barrier)に対する影響[10]、学習に対する影響[6]、メラトニンやセロトニンなどの内分泌作用[5]、環境ホルモンに対する影響[15]、脳グリア細胞に対する影響などを評価し、いずれに対しても影響を及ぼさないことを示してきた。脳に対する影響のほかに、社会的関心の高いものとして胎児や子供に対しての影響が挙げられる。2006 WHO Research Agenda for Radio Frequency Fields では、未発達な動物の造血器や免疫系に対する電磁波の影響評価を早急に検討すべき課題としている。

造血は、胎児期には主に肝臓、脾臓、骨髄が担い、生誕後は骨髄で行われている。全ての血球細胞は、多分化能と自己複製能の2つの性質をもつ造血幹細胞が分化することで作られている[7]。自己複製能を有する造血幹細胞は、生涯にわたり数々の遺伝子異常が蓄積される環境にあり、これらが造血器腫瘍の発症に関与している可能性が示唆されている[16]。造血器と電磁波については様々な研究がされており、極低周波電磁界に関しては、疫学的研究により小児白血病リスクを増加させることが報告されている[17, 18]。これらの因果関係に関して多くの研究がなされているが、そのメカニズムの解明には至っていない[19]。

高周波電磁界においても、小児白血病や造血器への影響が懸念されている。Djordjevic ら[20]は、ラットに2.45 GHz 電波を90日間ばく露し、その末梢血分画変化や造血器の組織学的変化を観察したが、有意な変化認められなかったと報告している。対して、Trosic ら[21]は、ラットに2.45 GHz 電波を30日間ばく露し、赤血球の増加と白血球の減少を認めたと報告している。また、Buslgeta ら[8]の報告では、ラットに全身平均SAR 1-2W/kgの2.45 GHz 電波を120分ばく露し、照射期間8日と15日の群で赤血球数の上昇を認めている。このように、高周波電波の造血器への影響については、いまだ一定の見解を得ておらず、さらに、未発達な動物の造血器に対する高周波電波の影響評価については依然として研究報告がなされていない現状である。これをうけ、

今回我々は、ラット頭部(妊娠 16 日)に脳平均 SAR 2W/kg、ならびに SAR 6W/kg で 90 分間ばく露を行い、産子ラット(19 日齢)の骨髄造血幹細胞、末梢血分画の変化を評価した。携帯電話端末の使用を想定した頭部ばく露を正確に行うために、ラットをアクリル筒の中で固定し、頭部の位置を安定させたうえでばく露をおこなった。結果、cage-control 群、sham 群、SAR 2W/Kg 群、SAR 6W/Kg 群の間で、ラット骨髄細胞中の造血幹細胞存在比や末梢血中の白血球数、赤血球数、血小板数の変化は認めなかった。positive-control としての SAR 20W/kg では、電波ばく露後の体温上昇、ならびに cage-control 群と比して骨髄細胞中の造血幹細胞存在比の増加と末梢血中の赤血球数の減少を認めた。電磁エネルギー吸収により体温上昇を生ずるような極高容量の電波ばく露については、細胞及び動物個体を用いた研究で、神経及び神経筋機能の変化や血液脳関門の透過性の増加をはじめとした多くの生理学的影響が観察されている[6, 10, 22]。したがって、電磁波の熱作用により妊娠ラットの体温上昇をきたしたために、胎児造血器が影響を受けた可能性が考えられた。エリスロポエチンなどの血球分化に重要な役割を担う造血因子の解析が、今後の課題と思われる。

我国では、「携帯電話端末等、身体に近接して使用する小型無線機等に適用する電波防護指針（局所吸収指針）」により、携帯電話から発する電磁波は一般環境において全身平均 SAR 0.08 W/kg 以下、局所 SAR 2.0 W/kg 以下となるように定められている。したがって、今後、ばく露時間やばく露期間についてさまざまな条件での検討が必要であることは疑いないが、本研究からは脳への電磁波ばく露レベルが携帯電話を大幅に上回る場合（脳平均 SAR 6W/kg）でも、熱作用を生じない条件であれば、ラットの胎児造血器に影響を及ぼさないことが推測された。

## 参考文献

1. Lai H, Singh NP: Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1995, 16(3):207-210.
2. Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, MacMurray A, Stagg RB, Zimmerman G: Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res* 2000, 60(7):1857-1863.
3. Shirai T, Kawabe M, Ichihara T, Fujiwara O, Taki M, Watanabe S, Wake K, Yamanaka Y, Imaida K, Asamoto M *et al*: Chronic exposure to a 1.439 GHz electromagnetic field used for cellular phones does not promote N-ethylnitrosourea induced central nervous system tumors in F344 rats. *Bioelectromagnetics* 2005, 26(1):59-68.
4. Vollrath L, Spessert R, Kratzsch T, Keiner M, Hollmann H: No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on the mammalian pineal gland. *Bioelectromagnetics* 1997, 18(5):376-387.
5. Hata K, Yamaguchi H, Tsurita G, Watanabe S, Wake K, Taki M, Ueno S, Nagawa H: Short term exposure to 1439 MHz pulsed TDMA field does not alter melatonin synthesis in rats. *Bioelectromagnetics* 2005, 26(1):49-53.
6. Yamaguchi H, Tsurita G, Ueno S, Watanabe S, Wake K, Taki M, Nagawa H: 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetics* 2003, 24(4):223-230.
7. Morrison SJ, Uchida N, Weissman IL: The biology of hematopoietic stem cells. *Annu Rev Cell Dev Biol* 1995, 11:35-71.
8. Busljeta I, Trosic I, Milkovic-Kraus S: Erythropoietic changes in rats after 2.45 GJz nonthermal irradiation. *Int J Hyg Environ Health* 2004, 207(6):549-554.
9. Weinberg SR: Effects of prenatal irradiation on fetal, neonate, and young adult murine hemopoiesis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1983, 9(12):1825-1831.
10. Tsurita G, Nagawa H, Ueno S, Watanabe S, Taki M: Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 2000, 21(5):364-371.
11. McCarthy KF, Hale ML, Fehnel PL: Purification and analysis of rat hematopoietic stem cells by flow cytometry. *Cytometry* 1987, 8(3):296-305.
12. Opstelten D, Deenen GJ, Rozing J, Hunt SV: B lymphocyte-associated antigens on terminal deoxynucleotidyl transferase-positive cells and pre-B cells in bone marrow of the rat. *J Immunol* 1986, 137(1):76-84.
13. Zhan Y, Wang Y, Wei L, Chen H, Cong X, Fei R, Gao Y, Liu F: Differentiation of hematopoietic stem cells into hepatocytes in liver fibrosis in rats. *Transplant Proc* 2006, 38(9):3082-3085.
14. Zhan YT, Wang Y, Wei L, Liu B, Chen HS, Cong X, Fei R: Differentiation of rat bone marrow stem cells in liver after partial hepatectomy. *World J Gastroenterol* 2006, 12(31):5051-5054.
15. Yamashita H, Hata K, Yamaguchi H, Tsurita G, Wake K, Watanabe S, Taki M, Ueno S, Nagawa H: Short-term exposure to a 1439-MHz TDMA signal

- exerts no estrogenic effect in rats. *Bioelectromagnetics*, 31(7):573-575.
16. 岡本真一郎：血液・造血器疾患 急性白血病. *日本医師会雑誌* 2002, 128(8):S136-S139.
  17. Ahlbom A, Day N, Feychting M, Roman E, Skinner J, Dockerty J, Linet M, McBride M, Michaelis J, Olsen JH *et al*: A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *Br J Cancer* 2000, 83(5):692-698.
  18. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA: A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood Leukemia-EMF Study Group. *Epidemiology* 2000, 11(6):624-634.
  19. Humans IWGoTEoCRt: Non-ionizing radiation, Part 1: static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic fields. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. In., vol. 80. Lyon: IARC Press; 2002: 1-395.
  20. Djordjevic Z, Lazarevic N, Djokovic V: Studies on the hematologic effects of long-term, low-dose microwave exposure. *Aviat Space Environ Med* 1977, 48(6):516-518.
  21. Trosic I, Matausicpisl M, Radalj Z, Prlic I: Animal study on electromagnetic field biological potency. *Arh Hig Rada Toksikol* 1999, 50(1):5-11.
  22. Michaelson SM: Biological effects and dosimetry of nonionizing radiation. Biological effects and health hazard of RF and MW energy; fundamentals and overall phenomenology. . New York: Plenum Press.; 1983.