

**2011 年度 全国学術大会**

**学術報告論文集**

**日本保健医療学会**

**開催日 2011 年 9 月 17 日 (土)**

**会 場 町田市文化交流センター**

---

---

# 低線量長期間被曝の時代における 除染食品の有用性

除染食品であるクロレラの有用性の検討

Utility of decontamination food when we keep receiving  
radiation exposure for a long time by a low dose

玉川大学 八並一寿  
Tamagawa University Kazuhisa YATSUNAMI

---

---

## 1. はじめに

福島原発事故で、核燃料の炉心溶融（メルトダウン）が震災当日に始まり、翌朝にはほぼ全燃料が落下していたという。福島原発事故は、世界中に大きな影響を及ぼしており、この事故により、日本の原発の安全性への信頼は大きく低下した。仮に、事故が速やかに収束し、事故原因が究明され、かつその情報が的確に伝達されれば、信頼はいくぶん回復する可能性はあるが、遅れば遅れるだけ信頼回復は困難と思われる。なおメルトダウンの際、冷却水の放射線分解で生じたと見られる水素による爆発により、放射性物質が、空気、土壌、農畜産物、水産物、海洋を汚染し、現在も深刻な問題となっている。爆発時に大気中に放出された放射性物質は、その後降った雨により、一部地域の稲わらを高濃度に汚染し、この稲わらを与えられた肉牛が出荷された。食品衛生法の暫定規制値（500Bq/kg）以上の放射性セシウムを含んだ食肉が多く、多くの県に流通し、成牛の出荷停止措置をとった県もある。こうした暫定規制値以上の食品の流通事例は、氷山の一角とも考えられ、いつどのような食品から、我々は放射性物質を取り込むか予断を許さない。

## 2. 被曝と低線量長期間被曝

放射線を浴びることが被曝で、1) 発生源との位置関係で；①外部被曝、②内部被曝、2) 体の範囲で；①全身被曝、②局所被曝、3) 時間で；①急性被曝、②慢性被曝に分類される。低線量長期間被曝の体への影響は、これまで人間が経験したことがなく、医学的データも存在しない。自然放射線量が、年間 10mSv 以上の人々に健康被害の報告が見あたらないので、累積で 100mSv 以下では、ほとんど健

康に影響はなく、100mSv の被曝でがんになる可能性は約 1.05 倍高まるという。これに対し、瞬間的に浴びた場合のデータであり、長期間の累積被曝量に当てはめるのはおかしいとする意見もある。放射性物質を、体内に取り込むことが内部被曝で、内部被曝の影響はこれまで過小評価されてきた。この理由の一つは、人間には元々遺伝子の修復作用があり、体内に僅かな放射性物質を取り込んでも問題は起こらないとする考えである。なお、内部被曝量の数値化は困難である。体内被曝では、体内から放射性物質が出すα線やβ線を浴び続けることになる。半減期の長いプルトニウムは、長期間α線を出し続けるが、体内 50μm 程度で止まってしまい、その間で全エネルギーを放出して付近の細胞の遺伝子を破壊し、危険な被曝を受け続ける。日本の放射線関連の基準値や規制値は主に国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告に従っている。今の科学や医学で低線量被曝の影響を結論づけるのは困難であるといわれる。

### 3. 除染食品の必要性

除染食品とは、つぎの4つの特性を持つ食品群から構成されると定義できる。すなわち、①除染処理食品、②除染機能食品、③除染強化食品、④除染補助食品である。除染食品は、以下のような理由で今後、早急に開発されることが必要である。①α線は透過力が弱い、近くの細胞のDNAを強力に破壊する。②もともと備わっているDNA修復処理が能力の限界を超してしまう可能性がある。③避難場所や仮設住宅、物流の不備、新鮮野菜の汚染を心配することでの食事バランスが悪くなっていることが予想される。④爆発時に飛散した放射性物質が、土壌や水を介して農産物や水産物内で濃縮されている。⑤安全な食べ物の見極め方がはっきりしない。⑥ある種の放射性物質は特定の臓器に集中する。⑦放射線の影響の安全と危険の境界の値がはっきりしない。⑧放射線に関して敏感な体質の人がいるはずなのに議論されていない。⑨今後放射能汚染の終息まで10年単位の長期間の対応が必要といわれる。⑩内部被曝の研究の技術的困難さや研究が評価されてこなかったため、その影響が今後現れるかどうかは不明である。⑪汚染農地を復活させ、安全な農産物を生産するには限界がある。⑫各種の除染法を駆使しても、便や尿、洗浄水として流れ、汚染された人の目には見えなくなるが、放射性の汚染物は、下水汚泥や川に流れ、やがて海洋中で希釈されるが、いずれ食物連鎖で再び人の口に入ってしまう可能性がある。

### 4. 除染食品の分類

#### ①除染処理食品

洗浄、土壌改良を含めた食品素材の放射能を軽減させる加工法、処理法を指す。除染のためには、イオン交換、土壌改良、洗浄、吸着などの手段が使用できる。適当な素材には、イオン交換樹脂、粘土、界面活性力を向上させた機能水、Ca-キチン、キトサンなどがある(表1)。

表1 除染処理食品の除染機序、関与成分ならびに操作や食品の例

除染の仕方や手段	関与する成分	例
イオン交換	イオン交換樹脂、ゼオライト	牛乳、水
洗浄	界面活性力を向上させた水	活水器
	水、漂白剤	野菜
土壌改良	粘度、未汚染土壌	トウモロコシ、飼料

吸着	Ca-キチン、キトサン、ベンナイト	飲料
----	-------------------	----

ゼオライトは、アルミニウムとケイ素と酸素から成る鉱物で、立体網目状結晶構造をもち、原子が数個はいれる程度の空洞がある。この空洞により、放射性物質が吸着される。いくら吸着力があるからといっても、オライトは食品ではない。したがって、ゼオライトは、汚染した食品の加工や処理のみ有効で、食用にはならない。ゼオライトを含む多数の無機イオン交換体を、牛乳中のセシウムとストロンチウムの除染能力を評価した実験で、合成交換体を組合せることで、セシウムの除去率は95%、ストロンチウムは54%除去できるが、こうした処理には高い経費と牛乳のpHが変化してしまうなど、牛乳でのゼオライト使用には問題点もある。界面活性力を向上させた水は、機能水とも呼ばれる。機能水は、何らかの機能を付加した水のこと、界面活性力の高い水を作るためには、鉱石から溶出するミネラルの利用、鉱石やセラミックの性質を利用して水を改質する方法、磁場を利用したり、これらを組み合わせたりした活水器を使用します。セラミック処理水を米飯に使用すると、セラミックから放射される遠赤外の微弱エネルギーにより、水分子間の水素結合を切断して、小さくなった水が米飯中の含水量と糖度が向上したという研究がある。

## ②除染機能食品

体内に空気や水や食品として取り込まれた放射性物質を体外に排泄させる作用のある食品群をいう。主な除染の機序は、1) 放射性核種との結合と吸着による主に便による体外排泄、2) 放射性核種と同位体の関係にある安全な元素あるいは性質の類似の元素の積極的摂取による放射性核種の体内への取り込み防止と、すでに体内を汚染している放射性核種の代謝促進による尿中への排泄促進の2通りがある。主な除染機能食品の、除染の仕方、関与する成分ならびに食品の例を表に2示した。

表2 除染機能食品の除染の仕方、関与成分や食品の例

作用の仕方	関与する成分	作物、食品の例
キレート結合	タンニン系化合物、フィチン酸	生薬、ハーブ、米糠
吸着、塩形成	キトサン、アルギン酸	甲殻類、褐藻類
錯体、吸着	ペクチン	各種植物体
蓄積阻止、代謝促進	ヨウ素、カリウム、カルシウム	昆布、野菜
吸着	活性炭、細胞外構造体	クロレラ、花粉

## ③除染強化食品

除染強化食品は、すでに体内に取り込まれた放射性物質の体内被曝に対し、放射線防御効果のある食品や成分を摂取することで、被曝に強い体質とする食品群をいう。主な除染の機序は、放射線防御因子が、骨髄幹細胞の賦活化、抗酸化物質による細胞の酸化損傷の防御、ラジカルスカベンジャー作用によるDNAの保護、免疫系を賦活化である。

表3 除染強化食品除染機序、関与成分や食品の例

作用機序	関与成分	作物、食品の例
骨髄幹細胞賦活	亜鉛、セレン	ミネラル酵母

DNA 保護	ターメリック、ピペリン、-(1,3)-D-グルカン、エピガロカテキンガレート、グリシンベタイン	ウコン、黒コショウ ハタケシメジ、 ビール
放射線照射誘発 細胞損傷保護	リコピン	トマト
細胞内過酸化水素低減	トリフロレントールA	カジメ
白血球機能正常化、 学習障害改善	アルファリポ酸	サプリメント
抗酸化	ビタミンC、クロロフィル	野菜、果実、クロレラ
ラジカルスカベンジャー、 免疫賦活	水抽出プロポリス、クエルセチン、 $\beta$ - -(1,6)-D-グルカン	プロポリス アガリクス
リンパ球に対する放射線防護効	ラクトフェリン	牛乳
細胞膜障害防止	イソフラボン、ゲニステイン	大豆、味噌
ミトコンドリア保護	レスベラトロール	ブドウ、赤ワイン
血小板回復促進	水溶性非サポニン成分	オタネニンジン、高麗ニ ンジン
免疫増加	アルカロイド類？	キャッツクロー

#### ④除染補助食品

排便促進等で体外に排泄する作用が知られる食品素材をいう。桑は、実は甘ずっぱく食用となり、葉はこれまでカイコのえさとして古くから利用されてきた。桑葉は、強い $\alpha$ -グルコシダーゼ阻害作用を示し、便秘改善効果もある。桑葉を与えたラットは、腸内フローラが改善し、便の量が増加する。桑葉は、 $\alpha$ -グルコシダーゼ阻害作用で、未吸収の糖質が大腸での吸湿作用で軟便となるので、便秘改善、排便促進作用がある。

#### 5. 除染処理食品としてのクロレラ

微細緑藻の一種のクロレラは、炭水化物と蛋白質の合成力はとともに旺盛で、食糧源になる藻類として研究され、錠剤などに加工され、健康食品として利用されている。クロレラは、環境を汚染している放射性物質の吸着と回収に使用されている。原子炉等から発生する廃液中のストロンチウムを除去システムの最初の処理システムとして、クロレラの充填層が用いられ、その下流に設置したベントナイトの反応器の組合せからなる。この装置を実験室スケールで実験したところ、流量 600ml/h、30 分間で、ストロンチウムの入口濃度 100mg/l であったものが、出口濃度で 2.5mg/l まで低減出来る。クロレラは多くの有害金属イオンの吸着に有効で、地下水の水銀の除去、Hanford でのウランの除去、製紙工業や電気めっき工業の廃棄物処分施設から出る六価クロムの低減などの実績がある。クロレラを、カドニウムを含む水溶液で培養すると最大 86%のカドニウムを除去し、3 価ユウロピウムおよびキュリウムと相互作用を示すという。

## 6. 除染機能食品としてのクロレラ

クロレラは、特にウランの吸着作用が優れているが、これには細胞内のタンパク質が関与している。クロレラのウランの吸着力を調べた研究では、柑橘類果実果皮、従来の吸着剤と比較したところ、クロレラは、海水ウランを高濃度に濃縮した。これは、クロレラ細胞内のタンパク質は、その分子の中に、カルボキシル基、アミノ基、アメルカプト基、水酸基などの金属を吸着できるタンパク質内にある反応性に富む基を多く持っているので、放射性物質の吸着剤として高い効果を示す。

表4 クロレラと他の天然物によるウラン吸着能の比較

吸着物	吸着活性 ( $\mu\text{g}$ )	吸着率(%)
クロレラ	218	72.7
クロレラをアルギン酸で固定した試料	245	81.7
温州ミカン内外皮	199	66.3
クレープフルーツ外皮	266	88.7
チタン酸	245	81.7

米国の研究では、原子炉から発生する廃液のストロンチウム除去するための吸着剤としてクロレラが使われている。その廃液処理工程は、上流のクロレラを充填層で、ストロンチウムをほとんど吸着させ、その下流に設置したベントナイトの流動層と膜反応器で吸着もれのストロンチウムを除去するシステムである。

表5 クロレラの放射性元素の濃縮係数

反応時間	濃縮係数		
	コバルト-60	ルビジウム-106	セリウム-144
6時間	$0.4 \times 10^2$	$1.0 \times 10^2$	$2.5 \times 10^3$
7日	$1.9 \times 10^2$	$2.5 \times 10^2$	$6.0 \times 10^3$
14日	$2.6 \times 10^2$	$3.0 \times 10^2$	$6.5 \times 10^3$

表5に、海水中の放射性コバルトや放射性セリウムなどを、クロレラを用いて濃縮し実験の結果を示した。クロレラはわずか6時間反応させただけで、コバルトの濃縮係数が、 $0.4 \times 10^2$ 、セリウムは  $2.5 \times 10^3$  と高く、クロレラはこれら元素を効率良く除去できた。クロレラの熱水抽出物には紫外線防御作用が、クロレラ分画物には放射線障害の防護効果が報告されている。

## 7. 除染強化食品としてのクロレラ

クロレラの除染の機序は主に吸着であるが、チェルノブイリ原発事故でカルーガ県の地域住民のために開発された、クロレラ配合除染食品（クロロサン）は、クロレラから調製した成分、 $\beta$ カロチン油、セレン酵母からなる。これを30日間住民が摂取したところ、汚染地域住民の血漿の生化学的指標に改善が見られた。

表6 クロレラ配合除染食品「クロロサン」30日摂取前後の血漿生化学指標

指標	摂取前	摂取後
アスコルビン酸 (mg/100ml)	0.53±0.03	0.71±0.02
β-カロチン(μg/100ml)	71.7±1.7	98.8±3.5
ビタミンA(μg/100ml)	9.1±0.6	14.7±0.7
セレン (μg/100ml)	94.0±3.3	103.0±2.1
赤血球グルタチオンペルオキシダーゼ活性 (μM/min/ml 赤血球)	39.3±0.3	61.7±1.2

表6に示したように、血漿中のアスコルビン酸、β-カロチン、ビタミンA、セレンの濃度が上昇し、放射線防御作用と関連する酵素のグルタチオンペルオキシダーゼ活性も上昇した。1978年に発見された自然突然変異株 *Chlorella vulgaris* E-25 は従来のクロレラの問題点を解消し、暗所で速い速度で増殖し、細胞壁も消化されやすい。チェルノブイリ原発事故処理作業員に対して、クロレラ E-25 の治療効果が試験され、約85%の被曝者で全身症状の改善が見られた。高線量の放射線治療を受けた後遺症患者でも効果が認められ、特に多くの被験者で精神安定作用が見られた。クロレラの放射線防護作用は、抗酸化作用による活性酸素抑制と免疫機能の活性化と考えられている。クロレラは、抗癌作用を有するサプリメントとしても知られている。

## 8. クロレラのスロンチウム吸着実験

【目的】クロレラは、これまでウランの吸着力が高いこと、放射性のコバルトの濃縮係数が高いことが知られている。そこで、クロレラの除染機能食品としての価値を明らかにする目的で、市販クロレラ錠剤のスロンチウム(Sr)の吸着力を検討した。

【材料】市販クロレラ錠剤（青玉V：(株)クロレラサプライ製）を粉砕したものを使用した。

【吸着の条件】市販50ml溶PP製遠心管（φ30mm、高さ11cm）に、Sr濃度が50μg/mlになるように調製した溶液を25ml入れ、これにクロレラ粉末を0.01g、0.50g、0.10g、0.50gをそれぞれ秤量して加え、卓上振とう機にて200min<sup>-1</sup>で15分間振とうした。振とう後、10000rpm、1分遠心した上澄を試験溶液とした。

【定量方法】標準Srは、0.1%となるように炭酸スロンチウムを0.1mol/L硝酸水溶液に溶解した。この母液のpHを1MのNaOHとHClでpHを調整した。Srの定量は、西口らのo-クレゾールフタレインコンプレクソンによるCa定量プロトコルに準じた。すなわち、反応溶液の組成は以下の通りである。o-クレゾールフタレインコンプレクソン40mg、ジエタノールアミン250ml、ジエチルアミン250ml、ポリビニルピロリドン1.0g、8-ヒドロキシキノリン1.25gを混合し褐色ビンに保存した。測定は、試験溶液50μl、2.5ml蒸留水、0.5ml反応溶液をよく混合し、10分後にブランク(0μg/ml)を対照として、570nmの吸光度を測定した。

【結果】o-クレゾールフタレインコンプレクソン法によるSrの定量性を検討した。図1より、Srは0

～100  $\mu$ g/ml の範囲で定量性が認められ、以後の実験では Sr の濃度を 50  $\mu$ g/ml として実験を行った。

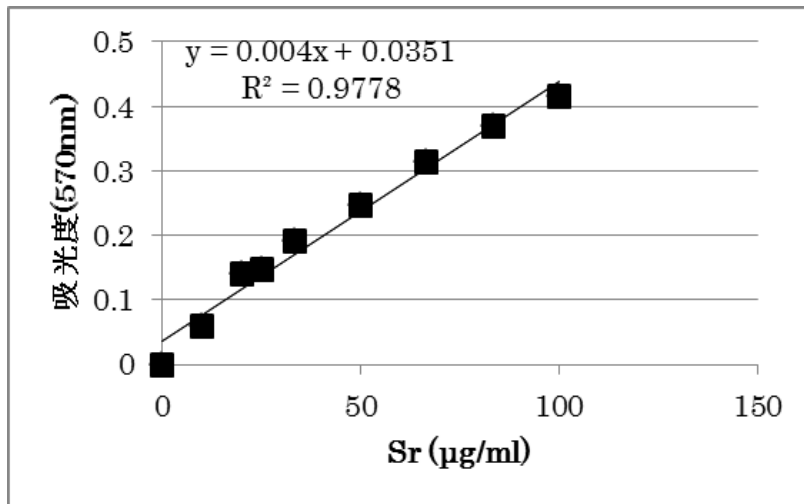


図1 o-クレゾールフタレインコンプレクソン法による Sr の検量線

吸着時の pH を pH3 から pH9 に変化させ、それぞれの条件における Sr の吸着量を検討した。

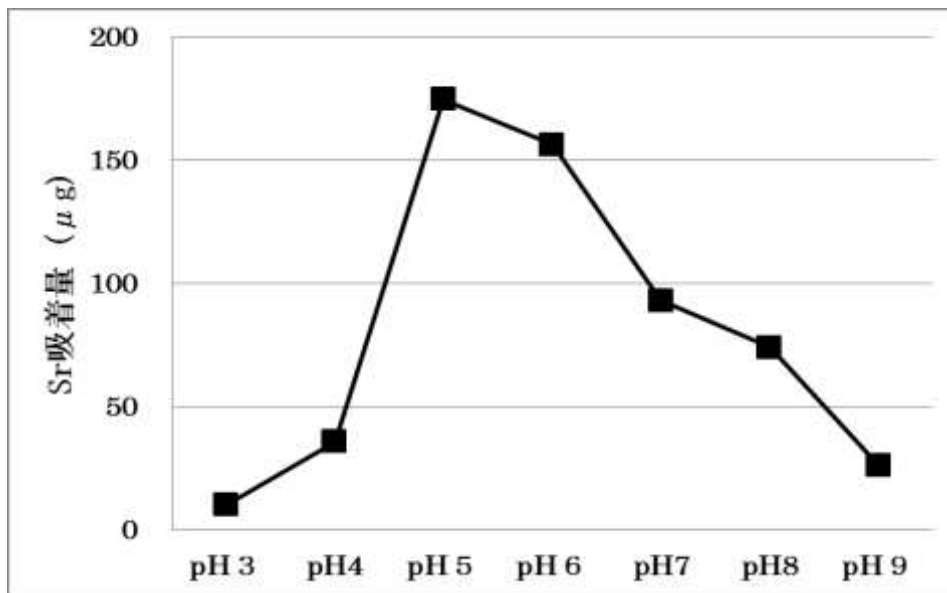


図2 吸着時の pH の違いによるクロレラの吸着力 (平均) の違い

クロレラを 0.01g、0.50g、0.10g、0.50g 添加した場合の平均値を、図2に示した。図2より pH5 と pH6 の吸着力が高く、酸性域や塩基性では低くなった。クロレラの 1 g 当たりの最大吸着量の pH の違いによる消長を検討した。いずれの pH でも、最大の吸着量は、吸着が観察された中では添加量が最も低い時に見出された。1 g 当たりの最大吸着量の pH の違いによる消長を図3に示した。傾向は平均値と同様に、pH 5 が最も高く、次いで pH6 で、この pH5～pH6 にかけて Sr を効率的に吸着した。pH3、pH4、pH9 は Sr の吸着効率は悪かった。しかし、pH5 において、添加量 0.01 g では 1 g 当たり約 500  $\mu$ g もの Sr を吸着できた。



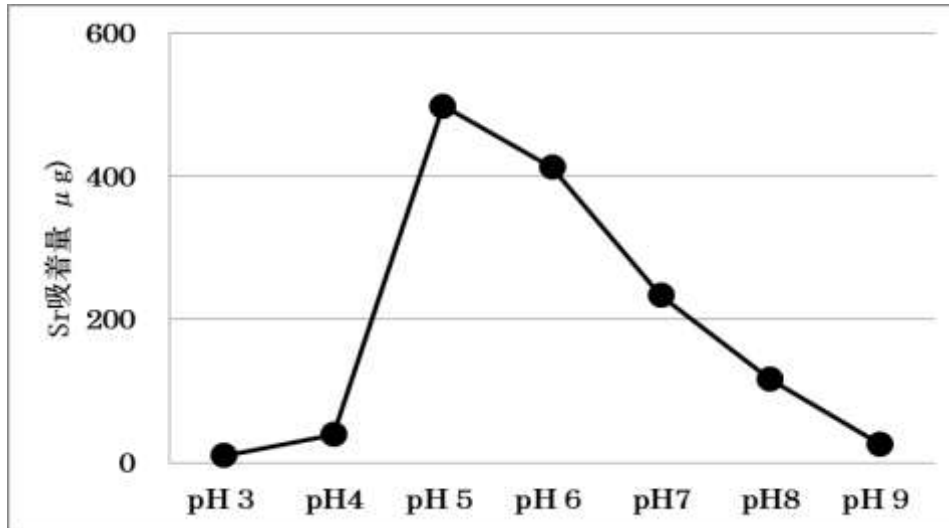


図3 吸着時の pH の違いによるクロレラの吸着力（最大）の違い

【考察】 合成ゼオライト（和光純薬製 HS-320、粉末、水素 Y）の添加量を 0.005～1 g 変化させて測定したところ、ゼオライト 1 g 当たりの Sr の平均吸着量は 225 μg、最大吸着量は 529 μg であった。クロレラは、Sr を pH5～pH6 付近で吸着させれば、合成ゼオライトに比較して最大量ではゼオライト以上の、平均値でもゼオライトまではいかないが、ゼオライトに近い吸着力を示す素材である。クロレラのすぐれた放射性核種の吸着能力は、細胞内に存在する金属を吸着する官能基を多数持つタンパク質に由来すると考えられた。

## 参考文献

- 1) 八並一寿：『今期待される除染食品の開発と原発事故による環境への放射能汚染』 FOOD Style21、15(6)、17-21 (2011).
- 2) 八並一寿：『今必要とされる除染食品とは何か ー原発事故による放射能汚染から食品成分で体を守る方法とはー』日本ビジネス・マネジメント学会第8回全国研究発表大会講演論文集、8th 21-24 (2011).
- 3) 八並一寿：『メルトダウン時代の食養 原発メルトダウン時代の最新食養法ー除染食品を活用した健康法ー』月刊総合医学、34(7) 4-7 (2011).
- 4) 八並一寿：『震災後の食品業界で開発が期待される除染食品と除染の機序』食品工業、54(20) 2-8 (2011).
- 5) Chaalal O., Ialam M.R. : "Integrated management of radioactive strontium contamination in aqueous stream systems" *J Environ Manag* 61(1) 51-59 (2001)
- 6) Darnall D.W. : "The Use of Non-Living Biomass to Recover Heavy Metals from Aqueous Solutions" *US DOE Rep PNL-SA-21775 II.131-II.133* (1993)
- 7) 尾崎卓郎、大貫敏彦：『クロレラ(*Chlorella vulgaris*)と3価ユウロピウムおよびキュリウムとの相互作用』分析化学討論会講演要旨集、65th 37 (2004)
- 8) Yewalkar S.N., Dhumal K.N., Sainis J.K. : "Chromium(VI)-reducing *Chlorella* spp. isolated from disposal sites of paper-pulp and electroplating industry" *J Appl Phycol* 19(5) 459-465 (2007)

- 9) Carrh H. P., Carino F. A., Yang M.S., Wong M.H. : “Characterization of the Cadmium-Binding Capacity of *Chlorella vulgaris*” *Bull Environ Contam Toxicol* **60**(3) 433-440 (1998)
- 10) 坂口孝司、中島暉、堀越孝雄:『生体物質による海水ウランの吸着』 日本農芸化学会誌、53(6) 211-217 (1979).
- 11) Kimura Y., Ogawa Y., Honda Y., Katsurayama K. : “Studies on the concentration of radioactive substances by plankton, *Chlorella pyrenoidosa*”, 保健物理、**25**(4) 361-368 (1990).
- 12) 渡利一夫 : 『主な核分裂生成核種の除去方法』 NIRS-M、(86) 121-128 (1992).
- 13) Tsyb A.F., Ryabchenko N.I., Palyga G.F., Tutelian V.A., Yarmonenko S.P. : “Food additives containing *Chlorella* E-25 (Momotaro E-25), beta-carotene and selenium designed for the population of radiocontaminated areas”, (9/10) 98-99 (1997).
- 14) 大垣昌弘 : 『クロレラ・ブルガリス E-25 の特性とチェルノブイリ原発事故処理作業員に対する健康効果』 *Isot News*、(581) 5-7 (2002)
- 15) 森久保治道 : 『癌の免疫細胞機構,癌の西洋学的最新治療及び抗癌作用を有するサプリメントについて』 漢方の臨床、49 (4) Page.529-538 (2002.04.25)
- 16) 西口靖彦、大坂隆志、安藤貞、早坂貴代史、池田順一、堀兼明、須賀有子、福永亜矢子 : 『飼料中マグネシウム、カリウム、カルシウム含量の迅速測定 2. 比色・比濁法による定量法』 近畿中国四国農業研究センター研究報告、(6) 141-151 (2007)
- 17) 放射線医学総合研究所監修、青木芳朗、渡利一夫編 : 『人体内放射能の除去技術 挙動と除染のメカニズム』 p71、講談社サイエンティフィック、(2011)