

講義 1

地域住民の食と健康への衛生・公衆衛生学的挑戦 ～その1 陰膳実測法による食事からの微量元素・ミネラル摂取量の研究～

盛岡短期大学部

教授 千葉 啓子

1 はじめに

衛生・公衆衛生学は人のすべてのライフステージにおける健康の保持増進と、人の生活環境や自然環境の保護や安全に関わっていて広い分野を有する。講義タイトルの「地域住民の食と健康」に関わる研究は、その中の公衆栄養分野の取り組みである。東北大学医学研究科、聖マリアンナ医科大学、そして岩手県立大学で行なった研究の多くの時間を、「人の食と健康」のテーマに費やしてきた。研究手法は「陰膳実測法（かげぜんじっそくほう）」（以下、「陰膳法」と略す。）という一般には余り耳慣れない食事調査法である。今回の講義では、「食と健康」に着目し陰膳法を手法とした「地域住民の食事からの微量元素・ミネラル摂取量」の研究に至るまでの経緯を紹介し、まだ分析途上であるが、岩手県内の地域住民を対象とした研究結果について触れたい。

2 陰膳実測食事調査の紹介

2-1 陰膳法とは

陰膳実測食事調査は、人が1日に摂取する水や飲料を含む食事すべてを収集し、その中に含まれる栄養素などの分析を行なうもので、これを自分の研究に当てはめると、人が実際に食べた食事を収集し、栄養摂取状況を調べるとともに、食事中の元素の種類や量を実際に分析して、人が1日にどのような元素をどのくらい摂取しているかを把握し、さらにそれらの元

素の健康影響を明らかにするための研究手法ということになる。

食事調査法の種類を表1に示した。食事調査法は大きく分けて2種類あり、1つは調査した時点での状況を明らかにするもので、もう1つは過去に遡って食の履歴を調査するものである。陰膳法は前者に入り、その長所は対象者の記憶や成分表の精度に依存しない点である。さらに食事を提供した対象者が自身の栄養や食品摂取状況を知るよい機会となる。一方、短所としては普段より1人多く料理を作らなければならないなど対象者の負担が大きく、また、他人に自分の食事をみせるため調査期間中の食事が普段の食事より豪華になったり、実際には食べていないものまで食べたことになってしまうなど、正確さを欠く懸念がある。研究者側にも回収容器の準備や陰膳費用(食材費)の負担など手間と経費が掛かる。しかし、それらのリスクが存在してもなお、陰膳法を通じて人が実際に摂取したものから種々の分析データを得られることは大変貴重であり、さらに食事からのデータと健康情報との関連の追及は、衛生・公衆衛生学的観点から大変有意義である。陰膳法の欠点を補う工夫と対象者の理解を十分得る努力をしながら進めていけば、より精度が高く、実用的な陰膳法の実施が可能であると考えている。

表1 食事調査法の種類

| 時期 | 方法 |
|--------------|---|
| 調査時の事象に関する調査 | a. 食事記録法 秤量法、目安量法 b. 陰膳法(化学分析法) c. 生体指標法 |
| 過去の事象に関する調査 | a. 食物頻度調査法 b. 食事歴法 c. 24時間思い出し法 d. 生体指標法 |

参照：食事調査のすべてー栄養疫学¹⁾ 第一出版

2-2 陰膳食事をを用いた微量元素・ミネラル摂取に関する研究の意義

ミネラルなら聞いたことがあるが、微量元素は知らないという方が多いかもしれない。周期律表に挙げられている元素の中で、生体を作り、生命維持にとって不可欠な元素は29種類ある。そのうち、カルシウムやリンのような生体に多量に存在する元素は多量元素、あるいは主要元素と呼ばれ、国内外の多くの研究や調査により、食事からの摂取量が把握され、1日の必要量もほぼ確定している。一方、生体内にはその存在量が0.01%（100ppm）にも満たない元素も存在し、これらは微量元素と呼ばれている。量は少ないが、生体にとって必須な元素もあり、日本人の食事摂取基準(2015年版)²⁾では、鉄、亜鉛、銅、マンガン、ヨウ素、セレン、クロム、モリブデンの8種類の微量元素について、摂取量の基準を設定している。微量元素やミネラルの多くはまだ研究が少なく、日本人の1日摂取量の実態把握や、摂取の過不足の指標値を設定するための根拠となる食事調査の報告も少ないのが現状である。また、既存の栄養調査や研究で用いられている食事調査の手法は「短時間思い出し法」や「食物摂取頻度調査」が主流で、住民の実際の食事を実測した値を用いて検討している事例は国内外とも余り存在しない。以上の事から地域住民が実際に食べている食事から実測した微量元素やミネラルの摂取量の検討は重要であり、その結果を日本人の微量元素やミネラル摂取の基準設定に生かしていくべきであると考えている。

2-3 陰膳法による研究の展開

その1 陰膳法による研究との出会い

ー 東北大学医学部における研究(全国縦断的研究)ー

東北大学医学研究科博士課程に入学した年に、所属先の衛生学教室(現環境保健医学分野)がトヨタ財団の学術研究助成金1,600万円を獲得し、「生体試料分析による生活環境変化の経年的把握」のテーマで環境汚染、とくに重金属の人体蓄積傾向の変化を長期的に監視することを目的に研究を

開始した。全国レベルでの現状把握と、5～10年後の比較に対応できる検体（生体試料）バンク機能の整備を研究計画に盛り込んだもので、全国各地の専業農家等を対象に、血液などの生体試料や食事を収集し、重金属分析を行う他、栄養学的評価も実施した。この時の食事調査手法が陰膳法であった。日常食からの汚染物質摂取量の把握を狙い、1980年代初頭における日本人の食生活と環境の関わりについて現状と推移を追究し、日本人の食生活と健康に関する特異性を検証しようとするものであった。サンプリング地域は北海道～沖縄の24県40地区におよぶ全国縦断的研究で、毎月のように教室員が全国の調査地に出かけていき、演者も何回か調査に加わった。専業農家、兼業農家、勤労者家庭の食事（陰膳）約2,100検体、血液・尿等の生体試料も収集した。カドミウム、鉛、マンガン、スズ等の重金属類に着目し、研究成果としてこれら重金属類の食事からの摂取量、正常範囲、地域変動、季節変動、そして栄養摂取状況を明らかにした。この一連の研究で得た陰膳食事を始めとする生体試料は、現在も京都大学・小泉昭夫教授（演者が東北大医学研究科在籍当時は同講座助手）が主管・運営する標本バンク登録の国内とアジア地域の検体（1976～2004年に調査・収集）の一部として保存されており、食と健康に関わる様々な用途での活用が期待される。

その2 聖マリアンナ医大でのヒ素の毒性研究と陰膳食事調査

一 海産物多食と食事中ヒ素摂取量の関係 一

博士課程修了後、川崎市に在る聖マリアンナ医大衛生学教室（現予防医学教室）で13年ほど勤務し、主としてヒ素を用いた動物実験に従事した。有害元素として代表格のヒ素は、当時、毒性や代謝経路、解毒機序などはほとんど明らかになっておらず、もっぱらハムスターを使ってヒ素の投与実験を繰り返した。その過程で我々の研究グループも含めた国内外の研究が進み、ヒ素に関する数々の知見が報告された。すなわち、国内外で発生したヒ素の食品汚染や職業性暴露等による健康障害の発生機序の解明研

究がなされたこと、国際がん研究機関(IARC)による発がん性評価で無機ヒ素はグループ1の発がん性物質に分類され、皮膚・肺・膀胱のがんと強い関連が明らかにされたこと、ヒ素は化学形態によりその毒性が大きく異なり、化学形態の重要性が認識されたこと、さらにヒ素含有食品として魚介類や藻類などの海産物が挙げられ、それらに高濃度のヒ素化合物が含有されることなどである。日本人は海産物を好み、日常の食事によく摂取するため、食事を介したヒ素摂取量が多いと予想されたが、それを実証した研究はほとんどなかった。そこで演者らは陰膳法を用いて食事中ヒ素の実測を行ない、日常食からのヒ素摂取量の算出を試みた。都内、川崎市の住民を対象にしたこの調査では食事から摂取するヒ素は海産物摂取に依存しており、その大半は毒性のないアルセノベタイン(AsB、トリメチルヒ素化合物)であることを明らかにした。

その3 岩手県立大学での陰膳食事調査

一 環境性ヒ素の生体影響に関する調査研究一

1997年秋に本学の前身である岩手県立盛岡短期大学に移り、翌春から滝沢キャンパスで岩手県立大学盛岡短期大学部教員として勤務して21年近くになる。当初の数年間にはヒ素について研究を続けていて、文科省の科研費や岩手県学術振興財団の研究助成により、調査地を沿岸の大船渡に定め、海産物を多く摂取する食習慣を持つ人々(漁家を中心)でのヒ素摂取の実態を陰膳法で検討した。聖マ医大で調査した都市居住者の3~5倍近くの海産物を摂取しておりヒ素摂取量も多かったが(図1、2)、大半がトリメチルヒ素化合物のアルセノベタインで、海産物多食によりヒ素摂取が増加しても、それによる健康障害は認められないことを実証した。このほか、岩手県や近隣の北東北には温泉水に高濃度のヒ素が含有しているところが多いので、ヒ素濃度が高い温泉水を日常生活の様々な面で利用する習慣が30年以上続いている温泉地の住民にご協力いただき、陰膳法で食事を収集し、環境性ヒ素の影響について検討した。県内外の多くの温泉水を

採取し、中には驚くほどの高濃度のヒ素を含有するものもあったが、陰膳収集を行なった対象者ではヒ素摂取量が多い傾向は認められず、温泉水の飲用（飲泉）による影響も認められなかった。

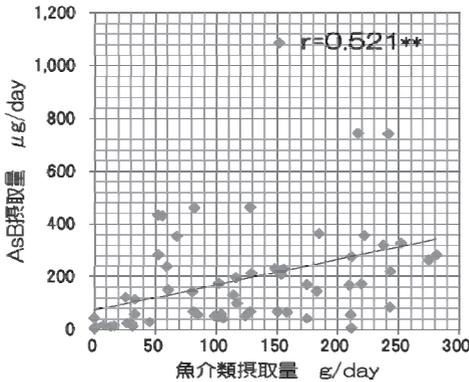


図 1 魚介類摂取量とアルセノベタイン摂取量の関係
(沿岸漁家の場合)

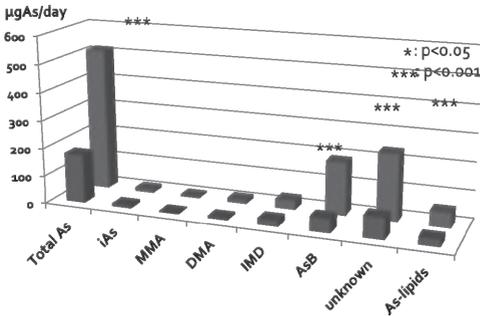


図 2 食事からの化学種別1日のヒ素摂取量
(手前：都市部居住者、奥：沿岸漁家)

一地域住民を対象とした食事からの微量元素・ミネラル摂取量に関する研究一

県大に移ってからの食事調査ではこれまでの経験を生かして、より精度高く陰膳収集が実施できるよう工夫を重ねた。県大の職場が栄養士養成であることも関係して、数年後からは有害元素のヒ素だけでなく、食事を介して摂取する元素類、とくに微量元素摂取量の実態把握が主な研究目的と

なった。現在も継続している陰膳法による食事調査について、概要とその成果の一部を紹介して本講義を終えることとする。

近年、人の健康に影響を及ぼす要因の1つとして、微量元素の摂取が注目されている。そこで、微量元素摂取と食生活や食習慣、そして健康との関連を陰膳を収集して検討した。対象は2003年に大船渡で実施したヒ素摂取量に関する陰膳調査の食事提供者で、ちょうど前回から10年後のフォローアップ調査となった。しかし、3月の東日本大震災津波によって調査地の生活環境は壊滅的な被害を受けたため研究計画は大きく変更された。当初、大船渡調査終了後、地域特性の比較に県内陸部の農業地帯で予定していた陰膳法による食事調査を先行実施し、大船渡での調査は現地事情がある程度回復した2015年に実施した(2011年度および2014年度科研費によった)。調査地は合計5地区(沿岸部1地区、内陸部4地区)で、対象者は男女合わせて116名である。

陰膳実施の概要を下記に示した。また、調査風景を図3、4に示した。

調査内容：①陰膳法による食事調査

丸一日の全飲食物を、朝食・昼食・夕食・3食以外(間食)別に、普段摂取する調理後の状態で採取容器に詰めて貰い、食事票と共に回収

②日常生活状況及び食生活状況のアンケート調査

③問診(既往歴、自覚症状、喫煙、飲酒習慣等)

④健康診断(身長・体重・体脂肪計測、血圧測定、触診等)

⑤生体試料の採取(血液、尿、毛髪)

集計項目：栄養素等摂取量及び食品群別摂取量、充足率など

分析項目：①多量元素・微量元素・有害元素の食事中摂取量、生体試料(血液・尿・毛髪)中含有量

②血液検査(脂質異常・貧血)

③尿検査(タンパク・糖他)

調査チーム：研究者 4 名、医師 1 名、看護師 2 名、管理栄養士 2～3 名、
補助学生 10 名など、20 名を越すスタッフで実施



図 3 陰膳回収および健康診断風景



図 4 管理栄養士による陰膳確認



図 5 陰膳（朝食）



図 6 秤量風景



図 7 食事試料作成

陰膳回収後、食品毎に分別秤量後、ミキサーで均一にし、分析用検体として -30°C で凍結保存した。また、一部は凍結乾燥後、磨砕して粉状にしたものを保存した。食事票をもとにした栄養素等摂取量の算出は日本食品標準成分表 2013 によった。個人毎の摂取量算出後は地域毎に集計し、データベースを作成した。図 5 は回収した陰膳の一例、図 6、7 は陰膳の処理風景である。

現在、食事をはじめ各種試料中の元素分析を進めている。多量元素類(ナ

トリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、リン)は誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-OES:サーモサイエンティフィック株式会社 iCAP6500DUO)を使用し、微量元素類(鉄、亜鉛、銅、マンガン、ヨウ素、セレン、クロム、モリブデン)の分析には誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS:アジレントテクノロジー株式会社 7700x)を用いている。また、毛髪中元素はPIXE多元素分析によった。

陰膳調査は準備と実施、分析用の検体調製までで、1ヵ所に約半年掛かる。下記に進め方の一例を挙げた。

- 10月中 調査協力のお願ひおよび参加者の募集
- 11月初旬 対象者確定
- 11月下旬 食事回収容器の配布と陰膳の仕方説明会
同意書の取り交わし、役員さん達との最終確認
本学研究倫理委員会での承認手続き
- 11月30日～12月2日 調査日(連続3日間の食事内容を記録、最終日に陰膳実施)
- 12月3日 陰膳・食事票・アンケート用紙回収、健康診断の実施
- 2月～3月頃 個人: 栄養・食品摂取状況、健診結果の連絡
地域: 全体報告会、栄養相談等

図8は調査終了後3ヶ月をめどに実施している、対象者への報告会用資料の一部である。これで自分が1日にどのくらいの食品を食べているか、栄養素は足りているかなどが判る。毎回、管理栄養士とともに調査地を訪れて対象者個人毎に健康診断結果とともにお渡ししている。最下段の囲いの中が管理栄養士からのコメントである。

| 調査年齢 | 性別 | 調査項目 | 単位 | 前 | 差 | 少 | 間 | 合計 | 標準量 | 充足率 | 別名 | 使用量 | | | |
|------|-------|------|----|------|----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 15-17 | 0 | 0 | 脂質 | mg | 363 | 405 | 735 | 147 | 25.18 | 2000 | 126.5 | | | |
| 1 | 18-29 | 0 | 0 | 水分 | g | 99.7 | 219 | 649 | 39 | 15.31 | | 穀類 | 40.45 | 蛋白質 | |
| 1 | 30-49 | 0 | 0 | 蛋白質 | g | 23.2 | 28.8 | 58.1 | 7.9 | 80 | 65 | 112.7 | 豆類 | 12.7 | |
| 1 | 50-69 | 0 | 0 | 脂質 | g | 27.7 | 6.7 | 5.5 | 3.7 | 36 | | 砂糖質 | 8 | 食塩 | |
| 1 | 70- | 0 | 0 | 炭水化物 | g | 173 | 181 | 147 | 21 | 466 | | 食塩 | 11.7 | 脂質 | |
| 2 | 1-2 | 0 | 0 | Na | mg | 2351 | 1183 | 3036 | 57 | 6374 | | 種子類 | 1 | 緑黄色野菜 | |
| 2 | 3-5 | 0 | 0 | K | mg | 1865 | 515 | 455 | 403 | 2167 | 2000 | 106.4 | 野菜類 | 4338 | 25.4 |
| 2 | 6-8 | 0 | 0 | Ca | mg | 468 | 69 | 129 | 66 | 770 | 800 | 109.3 | 果実類 | 2258 | 408.7 |
| 2 | 9-11 | 0 | 0 | タン | mg | 718 | 243 | 245 | 33 | 1389 | 700 | 198.6 | 食物 | 17 | 33.6% |
| 2 | 12-14 | 0 | 0 | 鉄 | mg | 4.8 | 1.8 | 2.5 | 0.3 | 9.4 | 10 | 90.9 | 雑糧 | 50.8 | 菓子類 |
| 2 | 15-17 | 0 | 0 | 付着量 | mg | 433 | 26 | 85 | 45 | 588 | 800 | 98.0 | 魚介類 | 238 | 糖質 |
| 2 | 18-29 | 0 | 0 | Bt | mg | 0.40 | 0.24 | 0.20 | 0.05 | 1.02 | 1.1 | 92.5 | 肉類 | 6 | 調味料 |
| 2 | 30-49 | 0 | 0 | Bt | mg | 0.39 | 0.19 | 0.25 | 0.19 | 0.90 | 1.2 | 75.3 | 卵類 | 275 | 調味料 |
| 2 | 50-69 | 0 | 0 | C | mg | 39 | 32 | 34 | 14 | 117 | 700 | 112.4 | 乳類 | 175.3 | その他 |
| 2 | 70- | 0 | 0 | 動物 | g | 6.7 | 1.5 | 1.9 | 1.9 | 9.4 | | | | | |
| 2 | 1-2 | 0 | 0 | 一食 | g | 6.2 | 2.1 | 1.5 | 0.7 | 10.5 | | | | | |
| 2 | 3-5 | 0 | 0 | 多量 | g | 8.6 | 2.4 | 1.5 | 0.1 | 12.6 | | | | | |
| 2 | 6-8 | 0 | 0 | Chol | mg | 31 | 0 | 178 | 92 | 157 | | | | | |
| 2 | 9-11 | 0 | 0 | 総脂 | g | 2.0 | 1.7 | 1.4 | 0.7 | 4.8 | | | | | |
| 2 | 12-14 | 0 | 0 | 総脂 | g | 6.5 | 4.8 | 5.3 | 0.9 | 18.9 | | | | | |
| 2 | 15-17 | 0 | 0 | 総脂 | g | 12.5 | 8.0 | 8.7 | 0.5 | 23.8 | | | | | |
| 2 | 18-29 | 0 | 0 | Mg | mg | 94.4 | 68 | 106 | 17 | 494 | 300 | 161.5 | | | |
| 2 | 30-49 | 0 | 0 | 亜鉛 | mg | 4.5 | 2.7 | 2.5 | 0.9 | 9.4 | 11.0 | 85.8 | | | |
| 2 | 50-69 | 1 | 0 | 銅 | mg | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 1.5 | 1.8 | 89.6 | | | |
| 2 | 70- | 0 | 0 | VD | mg | 0.7 | 0.0 | 0.6 | 0.0 | 1.5 | 2.5 | 58.7 | | | |
| 2 | 15-17 | 0 | 0 | VE | mg | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 0.1 | 8.7 | 10.0 | 86.8 | | | |
| 2 | 18-29 | 0 | 0 | VK | mg | 133.6 | 80 | 108.9 | 1.4 | 240.9 | 68.0 | 379.6 | | | |
| 2 | 30-49 | 0 | 0 | α | mg | 5.8 | 3.4 | 4.9 | 2.0 | 17.2 | 18.0 | 95.6 | | | |
| 2 | 50-69 | 0 | 0 | α | mg | 0.6 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 1.2 | 1.6 | 82.7 | | | |
| 2 | 70- | 0 | 0 | β | mg | 0.5 | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 1.0 | 2.4 | 41.9 | | | |
| 2 | 合計 | 1 | 0 | 脂質 | mg | 363 | 17 | 136 | 17 | 388 | 200 | 196.1 | | | |
| 2 | 脂質 | 0 | 0 | 水分 | mg | 2.4 | 1.7 | 2.2 | 0.2 | 6.4 | 9 | 79.7 | | | |
| 2 | 蛋白質 | 0 | 0 | 食塩 | g | 9.3 | 3.9 | 7.7 | 3.1 | 19.2 | | | | | |
| 2 | 食塩 | 0 | 0 | 食塩 | g | 21 | 6 | 10 | 6 | 37 | | | | | |

コメント：対象者が充分採っていたが、生活習慣病の予防にもなり得るので、毎食、緑黄色野菜類(ほうれん草、人参等)120g、そのほか、海藻類などの積極的に摂取して下さい。

図8 対象者への報告書（個人毎の栄養・食品摂取状況の一覧表）

近年、岩手県民の健康状況は余り芳しくない評価をされている。2010年の人口動態統計で男女とも脳卒中死亡率が全国第1位であった³⁾。脳血管疾患は食事の食塩摂取量と関連が強いといわれている。近年、食塩摂取量は全国的には減少傾向にある中、本県ではわずかだが増加傾向にある。また、都道府県別の比較でも本県の食塩摂取量は他の地域に比較して高い。食塩摂取量はミネラルのナトリウム(Na)に2.54を乗じて算出する。上記の表は食塩摂取量の多い対象者の例で、1日のナトリウム摂取量は6,374mgで食塩相当量は16.2gとなり、2010年国民健康・栄養調査結果⁴⁾の全国平均値10.2gよりかなり多く摂取していたが、さいわい対象者全体の食塩摂取量の平均値は全国平均値を下回っていたが、生活習慣病の発症予防及び重症化予防の観点から2015年の「日本人の食事摂取基準」²⁾の

目標値は男 9g 未満、女 7.5g 未満とさらに減塩を目指した数値が設定されており、今回の結果が個々の食生活や食習慣を考える機会になればよいと考える。調査では陰膳回収時に味噌汁を何回分か提供してもらい、これらの塩分濃度の測定と結果の報告も行なった。自分の家の味噌汁の塩分濃度は高いのか、低いのかを知ってもらう取り組みで、食塩摂取量について本人の注意喚起にもなり、食生活改善につながることを期待している。

今回の講義では調査結果の報告よりも陰膳法による食事調査法の紹介に時間を使った。分析はまだ続き、結果の解析はまだ始まったばかりである。今後も陰膳法で収集した食事試料中の元素分析とデータ解析を継続し、日常の食生活におけるミネラル・微量元素摂取の実態の把握に努める。これを 10 年前のデータと比較し、食生活や食習慣の変容の有無やその要因の追求を早急に行ないたい。また、食事試料以外の生体試料の分析やアンケート調査、健康診断結果等の情報と合わせて、総合的な栄養摂取状況、食品摂取状況と健康状態との関連を明らかにし、得られた情報を対象者およびその地域の人々の健康管理に役立てたい。

(本稿は当日の講義内容を要約し、一部、加筆修正を行なった)

参考文献

- 1) ウォルターウィレット 原著，田中平三 監訳，食事調査のすべて - 栄養疫学 第一出版，2003.
- 2) 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書：日本人の食事摂取基準「2015 年版」，第一出版，東京，2014.
- 3) 厚生労働省 2010 年人口動態統計，脳血管疾患都道府県別年齢調整死亡率，2010.
- 4) 国民健康・栄養の現状-平成 22 年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より-，健康・栄養情報研究会編，第一出版，2011.