



8

No.560
2024年8月発行

- トップコラム／筑波大学 陽子線医学利用研究センター 教授 榮 武二
- アクアワールド茨城県大洗水族館／〔その2〕健康管理
- 放射線のイロハ／〔第5回〕
放射線の人体影響〈放射線を正しくこわがる〉
- お願い／クリップ・ビジョンバッジフック・環境用ホルダの追加発送について
- 製品紹介／ビジョンバッジ

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
272



榮 武二

赤池情報量基準の謎

1. はじめに

放射線計測の研究をされている学生さんと先生方は、いろいろな場合に赤池情報量基準(AIC)を使っているか、使おうと考えていることと思います。数学を専門にされている方々はAICの式の取り扱いに悩むことはないと思いますが、我々は時として赤池情報量基準の謎に遭遇することがあります。本稿では、この謎について、いくつかわかっていることの解説を試みます。私は数学が専門ではないので、説明が間違っている可能性もあります。お気づきの方がおられましたら、別の機会に解説いただきますようお願いいたします。ここでは最初「計算式がいろいろあるのはなぜか」、次に「誤差付きデータの取り扱いはどうしたらいいのか」を取り上げます。

2. 計算式がいろいろあるのはなぜか

AICを使っている論文は非常に多いですが、計算式を付録に載せているものもあります。例として次の式があります¹⁾。 k をパラメータ数、 n をデータ数として、

$$AIC = 2k - 2\ln(\hat{L}) = k + n(1 + \ln(2\pi\sigma^2)) \quad (\text{AIC-1式})$$

導出の前段は教科書にお任せするとして、次の最大尤度から計算できます。

$$\hat{L} = \max \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{[y_i - f(x_i; \theta)]^2}{2\sigma^2} \right\},$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i; \theta)]^2$$

この式の前段は、標準偏差 σ を求めるときに、パラメータ θ の個数を自由度の減少としてデータ数から引いているところ。この前提を変えると式は変わります。

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i; \theta)]^2,$$

$$AIC = 2k + n(1 + \ln(2\pi\sigma^2)) \quad (\text{AIC-2式})$$

サンプリングによる自由度の変化を考慮し、分散の分母を $n-1$ とすると、

$$AIC = 2k - 1 + n(1 + \ln(2\pi\sigma^2)) \quad (\text{AIC-3式})$$

更にAICはモデルの相対的な比較に使うため定数項は効かないと考えます。よって、 σ の取り扱いは不明ですが次の式もあります。

$$AIC = 2(k+1) + n(1 + \ln(2\pi\sigma^2)) \quad (\text{AIC-4式})$$

n が k が変化しない場合関連する項を更に省略した式も存在します。

論文にするとときに、AICの値だけを示すと読者が確認し難いことになりますので、式も付録に付けるか、式が入っている論文を引用すべきと考えます。

3. 誤差付きデータの取り扱いはどうしたらいいのか

これについての数学の論文が難解です。シンプルなもの一つの方を示します²⁾。

$$\hat{L} = \max \prod_i \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \exp \left\{ -\frac{[y_i - f(x_i; \theta)]^2}{2\sigma_i^2} \right\}$$

$$AIC = 2k + n \ln(2\pi) + 2 \sum_{i=1}^n \ln \sigma_i + \sum_{i=1}^n \frac{[y_i - f(x_i; \theta)]^2}{\sigma_i^2} \quad (\text{AIC-5式})$$

この式の特徴は、最後の項で誤差に対する実験データのばらつきの相対的大きさが評価される点です。つまり誤差の尤もらしさも評価できます。当然この式で σ_i を一定にすると他の式と矛盾がないことがわかります。

4. 最後に

赤池情報量基準は、データを扱う全ての研究者、学生にとって非常に便利なツールです。尤もらしさを評価できるので、最適化、モデルの比較、計算方法・実験方法の比較、誤差の評価など、様々に活用できます。この解説が役に立って放射線計測の研究が進展することを願います。

*参考文献

- 1) QW.Li, B.Qiu, B.Wang et al., Radiotherapy and Oncology 136, 98-105 (2019)
- 2) T.Sakae, K.Takada, S.Kamizawa et al., Radiation Research 200, 139-150 (2023)

さかえ たけじ

筑波大学 陽子線医学利用研究センター 教授

プロフィール●九州大学工学部 応用原子核工学科卒、総合理工学研究科エネルギー変換工学専攻修士課程修了、低エネルギー電子散乱実験で学位取得、工学博士、放射線計測に関する研究後、筑波大学に移り陽子線治療に関する研究を行っている。2006年より現職。放射線に関連する様々な研究に興味がある。編著「医学物理学教科書シリーズ：放射線物理学、国際文献社」

アクアワールド茨城県大洗水族館 (その2)

健康管理



アクアワールド茨城県大洗水族館 獣医師 伊藤 慎子

今回はアクアワールド・大洗の動物たちの健康管理のお話をいたします。

1. 健康管理の体制について

アクアワールド・大洗には専属の女性獣医師が2名在籍し、獣医師を中心に飼育員とともに健康管理を行っています。

健康管理の対象とする生物はイルカやアシカなどの海棲哺乳類やペンギンなどの鳥類はもちろん、マンボウやサメなどの魚類にも拡大しています。普段から飼育員と連携しながら動物の動きや食欲などを観察し、症状がひどくなる前に必要な検査や投薬などの処置をしています。

2. 定期健診

アクアワールド・大洗では月に一回、動物健診を行っています。具体的な内容としては、採血は毎月、必要に応じて超音波検査とX線検査などを行っています。採血時に調子が悪い個体に関しては、1週間後に再度採血し、X線撮影するなど必要な検査や処置をして改善していきます。

採血は注射針を刺して行うのですが、テクニックが必要です。ウミガメ類は血管が外から見えず首を伸ばした状態で、上から垂直に長い針を刺して採ります。マンボウ

などの魚類も採血の血管の部分は見えませんが、エコーを駆使しながら血管を見つけて採血している水族館もあります。

X線検査は無暗に行うのではなくいくつかの検査をして、呼吸器が悪いのではないか、歯のところに膿が溜まっているのだといった判断がついた後に、その状態を確認するために撮影します。その後は投薬による状態の変化を確認するため、必要に応じて撮影します。X線装置はレントゲン室に回診型が1台、横からと上から撮影できるポータブル型が1台、以前使用していたポータブル型の計3台があります。大きな動物はレントゲン室に連れてくるのが難しいため、現場にポータブル型のX線装置を持って行って撮影しています。アシカなど体重が100キログラムを超える大きな動物は、X線撮影ができるようにカセットの上で寝てもらい、その状態で停止するトレーニングを行っています。普段のトレーニングと結び付けることにより、アクアワールド・大洗では割と簡単に撮

影することが可能となっています。また、小さな動物の場合、例えば大体3～4キログラムのペンギンはレントゲン室に連れて来て、寝かせた状態で頭を持つスタッフと足を持つスタッフがペンギンの体を固定して撮影します。撮影時のスタッフは放射線防護のため鉛のエプロンを必ず着用し、防護の手袋も装着して実施しています。

3. 病気と治療

急に寒くなる季節の変わり目などは、動物たちも体調をくずしやすいので、特に注意が必要です。また、ペンギンやエトピリカは野生では海岸の岩場の上で暮らしていますが、水族館の生活環境は平らな場所が多いため、足の裏に負担がかかって趾瘤症(しりゅうしょう)という足の裏にタコのようなものができる病気を多く発症しています。また、鳥類は免疫が低下した時に日和見感染症

の一つであるアスペルギルス症という真菌(カビ)の病気を発病します。大したことの無い真菌に侵されて、呼吸器が悪くなって手遅れになるケースも多くあります。

お客様が水槽を覗き込んだ時に、小型扇風機や子供たちが持っているスーパーボール等の小物をプールに落としてしまうことがあり、物を誤飲してしまうこともあります。オットセイやアシカ



オットセイのレントゲン撮影の練習

が異物誤飲した時は、人間を対象とした内視鏡のスペシャリストの先生や動物病院の獣医師と協力して、麻酔をかけて摘出しました。摘出処置では、麻酔、内視鏡操作、照明、記録、体温管理など十人以上のスタッフが必要となり、時間もとても長くなります。人間では簡単な処置でも動物相手となるととても大変です。

水族館の動物は、天敵に襲われることもなく、毎日コンスタントに餌を食べられる環境で生活しているため、平均寿命が野生の動物より少し長くなります。そのため、白内障も発症し、高齢になると腎臓や心臓が悪くなり、老衰で亡くなるが多くなります。最近では眼科の専門の獣医師の協力を得ながら、アシカの白内障の手術も行いました。処置や手術では、外部の先生からは無償でのご協力を、業者からは麻酔器の無料貸与などのご支援を頂いたこともあります。たくさんの方の協力に支えられながら、動物たちの健康を守るため、獣医師は飼育員とともに今日も奮闘しています。

放射線のイロハ

(第5回)

放射線の人体影響〈放射線を正しくこわがる〉

愛知医科大学医学部 化学教室 客員研究員 緒方 良至



① 被曝線量の単位と大量の全身被曝

被曝線量の単位は、シーベルト (Sv) である。自然界には、放射線が存在し、ヒトは被曝し続けている。このレベルの被曝と原爆での一度の大量被曝やガン治療の照射には区別が必要である。一度の大量全身被曝の場合、①中枢神経死;200 Sv以上、神経系の障害で1～5日で死亡、②腸障害死;5～20 Sv、消化管障害で5～20日で死亡、③造血器官障害死;3～5 Sv、骨髄障害で、適切な治療しなければ30～60日で死亡する。

② 細胞レベルでの影響

低線量被曝の場合、DNAの損傷が問題となる。放射線がDNAに直接あたりDNA鎖を切断する場合を直接効果、放射線により細胞内の水分子が励起され、化学活性が高いHラジカルやOHラジカル、活性酸素などが生成され、それらがDNA鎖を切断する場合を間接効果という。DNAは二重らせん構造であり、一方のDNAが切断されても対のDNAの情報により、多くの場合、正常に修復される。DNAが2本とも切断された場合、修復ミスを起こすことがある。修復ミスを起こした細胞は、アポトーシス(自死)することが多い。臓器内の一部の細胞が自死したところで器官は正常に働き続ける。大量被曝で自死細胞が多い場合、器官としての働きができなくなることがある。また、DNAの修復ミスで変異した異形の細胞がガン細胞として増え、数年から数十年してガンを発症する場合がある。

③ 人体レベルでの影響

人体への影響には、身体影響と遺伝的影響がある(図1)。身体影響には、皮膚の紅斑・脱毛などの急性影響と白内障・胎児の影響、白血病・ガンなどの晩発影響がある。また、白血病やガン

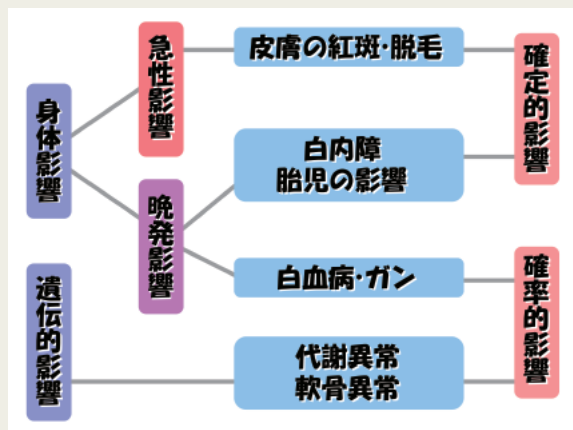


図1 放射線の人体影響

などの晩発影響がある。遺伝的影響は、ショウジョウバエなどの実験では確認されているが、ヒトでは、確認されていない。

④ しきい値と確率的影响

皮膚の紅斑・脱毛、白血球の一時的な減少、白内障や胎児への影響などは、しきい値未満では発症しない。一方、白血病やガン、遺伝的影響は、線量が増えるにつれ発症の頻度が増える。確率的影响について国際放射線防護委員会(ICRP)は、直線しきい値なし仮説を採用している(図2)。ICRPは、職業人に対し5年で100 mSv、公衆に対し年間1 mSvという上限を勧告している。

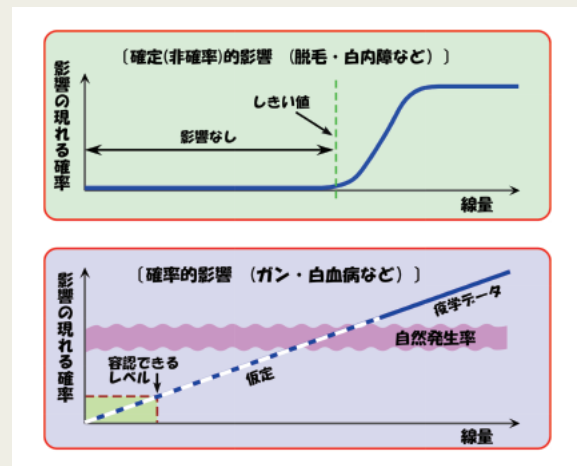


図2 しきい値と直線しきい値なし仮説

⑤ 年間の平均被曝

自然界からの被曝は、世界平均で一年あたり2.4 mSv、日本の場合2.1 mSvである。また、医療被曝は、世界平均で0.6 mSv、日本では3.87 mSvである。自然放射線と医療を足すと、年あたり、世界平均3 mSv、日本約6 mSvとなる。さて、年に6 mSvと言っても、医療被曝年1回の胸部X線検査(約0.05 mSv)程度の方は、年に2.1 mSv程度の被曝である。これがベースラインである。年平均6 mSvということは、10 mSvを超えて被曝している方も相当数いると推測される。それでは、公衆被曝の上限1 mSvを超えると危険か否か、考えて見よう。

*被曝線量とその単位

「被ばく」では、「被曝」か「被爆」か区別がつかないため本稿では「被曝」を用いた。被曝線量の単位にはSvが用いられる。一度の大量被曝にはSvではなくグレイ(Gy)を用いるべきであるが、本稿では、混乱を避けるためSvに統一した。

お願い

クリップ・ビジョンバッジフック・環境用ホルダの追加発送について

クリップ・ビジョンバッジフック・環境用ホルダは、長い間お使いいただきますと経年劣化で破損の可能性があります。破損した場合、無償でお送りいたしますので、「登録変更依頼書」右下の付属品欄に必要個数をご記入いただき、FAXまたはお電話等でご依頼ください。

B-Web^{plus}サービスをご契約のお客様は「クリップ等の注文」画面からご依頼いただけます。

なお、破損したクリップ等は、大変お手数ですが、お客様の方で処分していただきますようお願いいたします。

(お問い合わせ：お客様サポートセンター) Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440

製品紹介

ビジョンバッジ[®]

軽い 防護メガネに取り付けても重さを感じません

小さい 視界の邪魔をしないような小さいサイズを実現

ちょうどいい どのタイプの防護メガネにも取り付けられます

2021年4月から眼の水晶体の等価線量限度が、50 mSv/1年かつ100 mSv/5年に引き下げられました。ビジョンバッジは防護メガネによる遮への効果を反映した眼の水晶体の3 mm線量当量を測定するために開発された個人線量計です。検出素子にはTLD素子を使用しています。防護メガネに合わせて選択可能なフックを3サイズ揃えました。防護メガネに着用しないときは体幹部用のルミネスバッジに取り付けが可能です。眼の水晶体の等価線量限度を超過する恐れのある方は、ビジョンバッジのご着用をご検討ください。



ビジョンバッジサービスのお問い合わせ
営業部 Tel.029-839-3322

編集後記



榮先生のトップコラムを拝読し、レポート・卒業論文作成に頭を抱えた大学生の頃を思い起こしました。得られたデータから考察し、誰が読んでも理解できる文章でまとめる。当時の私は実験を行うより難しいと感じたほどです。これらの苦い思い出も、データが持つ意味や重要性を学ぶ良いきっかけになりました。読者の

皆さまもこのようなご経験がおりではないでしょうか。また、学生時代に限らず社会人となった今もデータから自身の考えをまとめ、周囲に伝える機会が増えたように感じます。そして、私生活でも同様に、数多くある情報やデータから、きちんと真髓を読み解く困難さを痛感します。情報過多な時代だからこそ、自身で考え、物事を見極められる力を磨いていきたいものですね。

(R.K.)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<https://www.nagase-landauer.co.jp>
E-mail: mail@nagase-landauer.co.jp

■弊社へのお問い合わせ、ご連絡は

本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440
大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

NLだより No.560
2024年(8月号)

毎月1日発行 発行部数: 42,200部

発行 長瀬ランダウア株式会社
〒300-2686
茨城県つくば市諏訪C22街区1
浅川 哲也