

《第4回 医用原子力技術研究振興財団 講演会》

原子力(放射線)利用技術の 医療への貢献

～人にやさしいがん治療・診断法～

講演要旨集



水戸黄門 助さん 格さん 像

日時／平成20年2月22日(金)

場所／茨城県県立文化センター 小ホール

主催/(財)医用原子力技術研究振興財団

■共催/(独)日本原子力研究開発機構

■後援/文部科学省 厚生労働省 原子力委員会 NEDO技術開発機構 筑波大学 茨城大学 茨城県 東海村 那珂市 水戸市 茨城県医師会
水戸市医師会 日本原子力学会北関東支部 国立がんセンター (財)癌研究会 有明病院 (独)放射線医学総合研究所 (社)日本原子力産業協会
(社)日本アイソトープ協会 NHK水戸放送局 茨城新聞社 (株)茨城放送

第4回 医用原子力技術研究振興財団 講演会 開催趣旨

本財団は、原子炉や加速器等から発生する粒子線を含む各種放射線を用いた疾病の診断および治療等を主たる対象として、そこに供せられる医用原子力技術の研究を推進するとともに、その普及を図り、もって人類の福祉向上に寄与することを目的に設立されました。

各種の事業を行っておりますが、その中で最も重要なものの一つとして、上記趣旨に沿った公開講演会を定期的に開催し、今回は「原子力（放射線）利用技術の医療への貢献」一人にやさしいがん治療・診断法—をテーマに取り上げました。

がん対策基本法、がんの診断と検診、PETによるがん診断、重粒子線がん治療、陽子線治療、中性子捕捉療法等につき、平易且つ啓発的に広く一般の方々に紹介するとともに、併せて、中性子捕捉療法におけるがん治療の地域医療協力の紹介、医療に貢献する原子力技術、がん治療施設の普及に向けた活動などについても紹介することを目指しております。

放射線の技術利用が診断・治療にも応用されることにより、原子力の有用性がエネルギー分野のみならず、医療の分野でも大きく認められつつあります。

ご参会の方々にお礼を申し上げますと共に、この公開講演会が皆様にとって何等かのお役に立てば嬉しいと考えております。

平成 20 年 2 月
財団法人 医用原子力技術研究振興財団

プログラム

《第4回 医用原子力技術研究振興財団 講演会》 原子力（放射線）利用技術の医療への貢献 ～人にやさしいがん治療・診断法～

13:00～13:10	開会挨拶 森 亘 (財)医用原子力技術研究振興財団 理事長
(第1部) 13:10～14:10	がん対策の最近の話題 座長 (財)癌研究会有明病院 放射線治療科 副部長 小口 正彦 1. がん対策基本法と放射線治療 (20分) 国立がんセンター中央病院 病院長 土屋 了介 がんの診断と検診について 座長 茨城県立中央病院・茨城県地域がんセンター 病院長 永井 秀雄 2. 放射線画像診断装置の役割と仕組み (20分) 茨城県立医療大学 保健医療学部 教授 西村 克之 3. PETを利用したがん検診について (20分) 日立総合病院放射線診療科 主任医長 中島 光太郎
(第2部) 14:10～15:10	がんの放射線治療 (前半) 粒子線治療 座長 (財)医用原子力技術研究振興財団 常務理事 平尾 泰男 4. 放射線治療の医学物理について (20分) (独)放射線医学総合研究所 名誉研究員 河内 清光 5. 重粒子線治療の現状について (20分) (独)放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院 治療課長 鎌田 正 6. 陽子線治療の現状について (20分) ～筑波大学陽子線医学利用研究センターの紹介も含めて～ 筑波大学大学院人間総合科学研究科 先端応用医学専攻 准教授 徳植 公一
15:10～15:25	休憩 (15分)
(第2部) 15:25～16:05	がんの放射線治療 (後半) ほう素中性子捕捉療法 (BNCT) 座長 筑波大学附属病院 副院長 筑波大学陽子線医学利用研究センター長 松村 明 7. BNCT- 究極の放射線治療を目指して (20分) 川崎医科大学 放射線科 (治療) 准教授 平塚 純一 8. BNCT に貢献する原子力技術 (20分) (独)日本原子力研究開発機構 研究炉加速器管理部 副主任研究員 熊田 博明
16:05～16:10	会場 設 営
(第3部) 16:10～16:50	粒子線治療・BNCT・地域医療協力者を交えてのフリーディスカッション コーディネーター 松村 明 (独)放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院 治療課長 鎌田 正 筑波大学大学院人間総合科学研究科先端応用医学専攻 准教授 徳植 公一 筑波大学大学院人間総合科学研究科 機能制御医学専攻脳神経機能制御医学 (脳神経外科学) 講師 山本 哲哉 川崎医科大学放射線科 (治療) 准教授 平塚 純一 東海村立東海病院 病院長 大場 義幸
16:50～17:00	閉会の挨拶 岡崎 俊雄 (独)日本原子力研究開発機構 理事長



○がん対策の最近の話題

第一部

座長

小口 正彦 先生

(財) 癌研究会有明病院 放射線治療科 副部長

小口 正彦 (おぐち まさひこ)

昭和 31 年 12 月	長野県岡谷市生、現在 東京都品川区在住
昭和 58 年	信州大学医学部卒、平成 10 年 医学博士 (信州大学)
昭和 58 年 5 月	信州大学医学部附属病院放射線科 研修医
昭和 63 年 1 月	信州大学医学部放射線医学教室 助手
平成 8 年 12 月	信州大学医学部附属病院放射線科 講師
平成 9 年 4 月	M.D.Anderson Cancer Center, Observership
平成 9 年 12 月	信州大学医学部附属病院中央放射線部 助教授
平成 12 年 4 月	癌研究会附属病院放射線治療科 医長
平成 15 年 1 月	癌研究会有明病院放射線治療科 副部長

現 在：放射線治療認定医、放射線専門医、日本放射線腫瘍学会評議員

研 究 歴：厚生労働省がん研究助成金：放射線治療における臨床試験の体系化に関する研究－安全管理と質の管理を含む 主任研究者4期 他

専門領域：悪性リンパ腫 乳がん 直腸がん 他

1. がん対策基本法と放射線治療

国立がんセンター中央病院 病院長
土屋 了介 先生

がん対策基本法が平成18年6月23日に公布され、平成19年4月1日に施行されました。基本法の理念に従って国が平成19年12月に閣議決定した「がん対策推進基本計画」を基に、都道府県は「がん対策推進計画」を本年3月までに作成することになっています。

がん対策というと従来は研究が重んじられましたが、基本法には基本的施策として、

- ① がんの予防及び早期発見の推進
- ② がん医療の均てん化の促進等
- ③ 研究の推進等

が挙げられています。研究の推進の前に予防・早期発見・医療が挙げられたことは画期的なことと言えます。

がんの予防及び早期発見の推進では「がん予防の推進」と「がん検診の質の向上等」が挙げられ、がん医療の均てん化の促進等では「専門的な知識及び技能を有する医師その他の医療従事者の育成」、「医療機関の整備等」、「がん患者の療養生活の質の維持向上」と「がん医療に関する情報の収集提供体制の整備等」が挙げられました。「国及び地方公共団体は、がん患者がその居住する地域にかかわらず等しくそのがんの状態に応じた適切ながん医療を受けることができるよう、専門的ながん医療の提供等を行う医療機関の整備を図るために必要な施策を講ずるものとする」とされ、「医療機関等の間における連携協力体制の整備を図るために必要な施策を講ずるものとする」と記載されている。そのために、「手術、放射線療法、化学療法その他のがん医療に携わる専門的な知識及び技能を有する医師その他の医療従事者の育成を図るために必要な施策を講ずるものとする」と記載された。

基本法の施行を受けて作成された「がん対策推進基本計画」では、重点的に取り組むべき課題

- ① 放射線療法および化学療法の推進並びにこれらを専門的に行う医師等の育成
- ② 治療の初期段階からの緩和ケアの実施
- ③ がん登録の推進

が挙げられています。

すなわち、従来、我が国では治療の主体が外科であったことの反省から、放射線療法・化学療法・緩和医療を重点的に取り組んでいく必要があることが指摘されています。今回の講演では、現状へ至る経緯と、今後の取り組みにおける課題について、参加される皆さんと一緒に考えたいと存じます。



土屋 了介 (つちや りょうすけ)

生年月日：昭和 21 年 1 月生

出身地：神奈川県横浜市

現職：国立がんセンター中央病院 病院長

学歴・学位：昭和 45 年 3 月 慶応義塾大学医学部卒業
平成 7 年 3 月 医学博士 東京医科大学

職歴・研究歴：昭和 45 年 4 月 慶応義塾大学病院外科入局
昭和 45 年 5 月 日本鋼管病院外科
昭和 48 年 6 月 国立がんセンター病院レジデント
昭和 51 年 7 月 国立療養所松戸病院外科
昭和 52 年 4 月 Mayo Clinic 留学
昭和 52 年 10 月 防衛医科大学校外科学第二講座 助手
昭和 54 年 1 月 国立がんセンター病院外科医員
昭和 60 年 2 月 Mayo Clinic 留学
昭和 60 年 5 月 国立がんセンター ICU 病棟医長
平成 元年 5 月 国立がんセンター 7B 病棟医長
平成 3 年 4 月 国立がんセンター第一病棟部長
平成 11 年 4 月 国立がんセンター中央病院臨床検査部長
平成 14 年 4 月 国立がんセンター中央病院副院長
平成 18 年 4 月 国立がんセンター中央病院病院長
現在に至る
平成 7 年 6 月～平成 13 年 6 月 医師国家試験委員
平成 13 年 6 月～ 医道審議会専門委員
平成 18 年 12 月～ 新健康フロンティア戦略賢人会議委員

専門：胸部外科学（得に進行肺癌の手術）
胸部診断学

賞罰：昭和 59 年 2 月 田宮賞（国立がんセンターより「心大血管外科的手術手技の肺癌外科への導入」に対し授賞）
昭和 62 年 6 月 刀林賞（慶応義塾大学外科同窓会より雑誌モダンメディスン連載「肺癌を読む」に対して授賞）

学会理事：日本肺癌学会、日本胸部外科学会、IASLC
(International Association for Study on Lung Cancer)

学会誌編集委員：Annals of Thoracic Surgery

学会監事：日本胸部外科学会

学会評議員：日本呼吸器外科学会、日本気管支学会、日本胸部外科学会

学会会員：日本外科学会、日本胸部外科学会、日本放射線腫瘍学会、日本癌治療学会、日本臨床外科学会、日本小児外科学会、日本癌学会、American College of Chest Physicians, International Association for Study of Lung Cancer, World Association for Bronchology, Society for Thoracic Surgeons(U.S.A.), General Thoracic Surgical Club(U.S.A.)



○がんの診断と検診について

第一部

座長

永井 秀雄 先生

茨城県立中央病院 茨城県地域がんセンター 病院長

永井 秀雄 (ながい ひでお)

昭和 23 年生	
昭和 48 年	東京大学医学部卒業
昭和 63 年 - 平成 13 年	国立療養所東京病院外科医長
平成 3 年 - 平成 11 年	自治医科大学消化器・一般外科助教授
平成 11 年 - 平成 14 年	自治医科大学消化器・一般外科教授
平成 14 年 - 平成 16 年	自治医科大学外科学講座主任教授
平成 16 年 - 平成 19 年 3 月	自治医科大学消化器・一般外科学部門主任教授
平成 16 年 - 平成 19 年 3 月	自治医科大学附属病院副病院長
平成 19 年 4 月 - 現在	茨城県立中央病院・茨城県地域がんセンター病院長

専 門： 痔・胆道外科、消化器外科、内視鏡外科

所属学会： 日本外科学会	(昭和 53.5.20 ～、評議員・指導医・専門医)
日本消化器外科学会	(昭和 50.7.10 ～、指導医・専門医)
日本消化器病学会	(昭和 51 ～、関東支部評議員・専門医)
日本肝胆膵外科学会	(平成 5.1.1 ～、評議員)
日本内視鏡外科学会	(平成 7.2.22 ～、評議員・技術認定医)
日本胆道学会	(昭和 55 ～、評議員)
日本成人病学会	(評議員)
日本消化器癌発生学会	(評議員)

2. 放射線画像診断装置の役割と仕組み

茨城県立医療大学 保健医療学部 教授
西村 克之 先生

がんはどのようにして発生するか

皆さんの体の中ではかなりの個数のがん細胞（毎日 50～500 個）ができていて、体の防御機構でそのがん細胞が押さえ込まれているということをご存知でしょうか？アクセル役のがん遺伝子とブレーキ役のがん抑制遺伝子が損傷を受けたりや変異をしたりすることで、正常細胞のがん化が促進されます。がん細胞は分裂回数を制御できない細胞です。発がん物質、ウイルス、放射線など様々な原因で遺伝子が傷ついてがん細胞ができるけれども、免疫機構はそれらを常に監視して、排除しているといわれています。運悪く防ぎきれなかったときにがん細胞が増殖して塊となり、いわゆるがん組織を形成し、肉眼や種々の検査で検出できるようになります。

がんで死ぬとは

一方がんになるとどうして死ぬのでしょうか。がんは局所にとどまっている間は、あまり悪さはしません。一部の細胞が剥がれて生命に直接関与する他の臓器に飛んで行く「転移」ということが決定的な悪さをします。がんで死亡する原因は、がんによる転移や浸潤によって起こる、臓器機能不全、機能障害、出血、免疫力低下による感染症、栄養失調、血液循環不良などです。肝臓に転移をし、肝臓の解毒機能が犯されると、アンモニアなどの脳を麻痺させる物質が血流に乗って脳に到達し、脳の働きを麻痺させてしまいます。肺に転移すると空気の通り道を塞いで、窒息させます。また、腹膜に転移すると、電解質やタンパク質が体液から漏出して衰弱やショック症状をきたし死に至ります。

がん検査

がん検診によるがんの検出は発生から終局をむかえるまでの間の、ごく一時期で行わなければ意味がありません。あまり小さくても、検診では検出できませんし、またかなり進行したがんを見つけても思わしい結果は得られません。数ミリから数センチの間で局所にとどまっているときに検出することが重要となります。がんの検査でよく使われるのは、細胞検査、生化学的検査、画像検査です。細胞検査は、痰や子宮壁の剥がれ落ちたがん細胞を見つけ出す検査です。生化学検査は便中の出血痕跡の検査、前立腺癌に用いられる PSA ^{ピ-エス-エ-} などの腫瘍マーカーの検査などです。画像検査にはその場で調べてすぐ見る検査（小さな CCD カメラを搭載した内視鏡検査、超音波エコー検査など）と写真にとって調べる検査（エックス線写真、CT、MRI）、および特定の部位がどの程度活動しているかを調べる検査（シンチグラフィ、PET など）の三種類があります。画像検査に属するものは、人体を通過する電磁波（ラジオ波、赤外線、X 線、ガンマ線など）や音波などの媒体と、さらに組

織の情報を媒体に乗せるために「媒体と人体との相互作用」が必要です。画像検査に関しては近年長足の進歩をとげ、より詳しく、より速く、より少ない負担で検査ができるようになっており、そのための研究も進んでいます。

精密検査ではCTによる大きさの把握や、MRIによる脳転移の有無、さらに超音波内視鏡により、内部の状況がどのようになっているかを調べます。がんであるという確定診断は一部を切除してきた組織を顕微鏡的に観察する組織診断で行われます。

画像検査と最近の進歩

2005年ではがん罹患率の部位順位は男子で胃、大腸、肺、肝臓、前立腺、女性で大腸、乳房、胃、子宮、肺、肝臓だといわれています。がん死亡率の順位は男子で肺、胃、肝臓、大腸、前立腺、女性で大腸、胃、肺、肝臓、乳房だといわれています。本講演では罹患率、死亡率の多いがんに関する検診と検査を、主に画像検査の観点からご紹介し、最近の機器の検査法のめざましい進歩についてお話しします。



西村 克之 (にしむら かつゆき)

昭和 49 年 : 東京工業大学大学院博士課程
 応用物理学専攻修了
昭和 53 年 - 昭和 62 年 : 埼玉医科大学放射線医学講座講師
昭和 63 年 - 平成 7 年 : 埼玉医科大学放射線医学講座助教授
平成 7 年 - 現在 : 茨城県立医療大学保健医療学部教授

3. PET を利用したがん検診について

日立総合病院放射線診療科 主任医長
中島 光太郎 先生

ベット ポジトロン エミッション トモグラフィ
PET (Positron Emission Tomography: ポジトロン断層撮影法の略) 検査とは、放射線をだす物質を身体の中に入れて、体から出る放射線をカメラでとらえて身体の断面像を撮影する方法です。

PET は従来、大学や研究機関で脳の血流や身体の中の代謝の研究をするために使われてきましたが、ブドウ糖によく似た物質に放射線を出す同位元素をつけた エフディージー FDG という物質が、がんによく集まるといことがわかってから、多くの病院で患者さまのための PET 検査が行なわれるようになってきました。

なぜ FDG はがんによく集まるのでしょうか？

がんは活発に自分の細胞を増やして大きくなります。そこで、たくさんのエネルギーが必要となるためにたくさんのブドウ糖を消費するのです。FDG はこのブドウ糖によく似た物質であるために、ブドウ糖と同じようにがん細胞に集まるのです。

特に 15 年位前からがんに対する FDG 検査のたくさんのデータがでています。他の検査で見つかった腫瘍ががんであるのかどうか、がんのひろがりやどのくらいなのか、がんの治療の効果はどうなのか、がんの再発はあるのか、といったことに FDG は大変役に立つことが報告されています。これらのデータをもとに 10 年前からがんを見つけるがん検診に FDG が使えるのではないかと考えられるようになり、PET を用いたがん検診が行なわれるようになってきました。

現在、全国では 200 施設ほどで PET ががん検診が行なわれていますが、がん検診に PET を利用し始めてまだ日が浅く、PET ががん検診に役立つかどうかを判断することができるような十分な証拠がそろっているわけではありません。公式に統計が出されている施設は少ないのですが、だいたい検診を受けた患者さまの 1～2% にがんが発見されています。これは検診をうけた患者さま 100 人に一人か二人にがんが発見されている事になります。

PET が検診に向いている点はいくつかあります。まず、一度に全身をみることができるので、単独の検診でひとつひとつの臓器について調べるよりは大変に効率がよいといえます。また、発見されたがんは、肺がんや甲状腺がん、大腸がん、悪性リンパ腫など多岐にわたっていますが、副作用や苦痛もなく、思いがけないがんが見つかることがあり、症状のない比較的早期のうちに見つかるので、たくさんの方から支持されています。

さて、PET でどんながんでも見つかるのでしょうか？

PET は多くのがんに有効で早期のがんを見つけることも多いのですが、残念ながら不得意なものもあるのです。まず、非常に小さなもの。特に 1 cm 以下の腫瘍は機械の限界で写らないこともあります。したがって、超早期のがんをみつけることができるというのは過大広告です。

また、FDG を取り込まないがんもいくつかあります。脳腫瘍、甲状腺がんの一部、ある種の肺がん（高分化型腺がんと呼ばれるものです）、肝がんの一部、多くの胃がん、多くの腎がん、尿管がん、膀胱がん、前立腺がんなどです。これらのがんは、かなり大きくなっていても見つけられないことがあります。

この他にも、有効といわれているがんでも、うまく写らない場合もあります。

今回の講演では、2004年に日立総合病院でスタートしたがん検診での成果をもとに、PETによるがん検診の意義についてお話したいと思います。



中島 光太郎 (なかじま こうたろう)

生年月日：昭和 32 年 12 月 7 日

出身：愛知県名古屋市

最終学歴：昭和 58 年 3 月 筑波大学医学専門学群卒業

職歴：昭和 58 年 6 月 筑波大学附属病院医員採用

略歴：昭和 62 年 4 月 (株)日立製作所日立総合病院放射線診療科

学位：平成 7 年 シンチグラフィによる股関節疾患の動態解析
—因子解析法の臨床応用に関する検討—

認定医：日本医学放射線学会放射線専門医

専門医：日本核医学会認定医

PET 核医学認定医

日本医師会認定産業医

加入学会：日本医学放射線学会

日本核医学会

主な診療内容：放射線診断業務一般，核医学診断



○がんの放射線治療 粒子線治療

第二部 前半

座長

平尾 泰男 先生

(財)医用原子力技術研究振興財団 常務理事

平尾 泰男 (ひらお やすお)

理学博士

昭和 5 年 9 月 兵庫県神戸市生
千葉県千葉市在住

昭和 28 年 3 月 大阪大学理学部物理学科卒業

経 歴：昭和 36 年 2 月 大阪大学理学部助教授
昭和 42 年 4 月 東京大学原子核研究所教授
昭和 62 年 5 月 放射線医学総合研究所研究部長
この間、医療用重粒子線加速器建設、臨床応用開始に向けての準備時期。
平成 5 年 12 月 放射線医学総合研究所研究所長
平成 8 年 3 月 財団法人 医用原子力技術研究振興財団 常務理事
平成 9 年 5 月 放射線医学総合研究所 顧問
平成 10 年より 財団法人 日本分析センター 会長 (非常勤)

受 賞：大型加速器の医療分野への導入に当たって医療用重粒子線加速器の要となるイオン源、アルバリ型線形加速器、高周波加速装置、電磁石電源等の研究開発を行い、世界初の医療用重粒子線がん治療装置 (HIMAC) の完成に貢献し、以下を授賞した。
平成 7 年 4 月 日本産業技術大賞特別賞
平成 9 年 4 月 紫綬褒章
世界初のがん治療用重粒子線加速器の開発が評価され、春の叙勲で紫綬褒章を授与された。
平成 14 年 11 月 勲二等瑞宝章
これまでの長年の功績が認められ、勲二等瑞宝章を授与された。
平成 17 年 2 月 高松宮妃癌研究基金・学術賞 授与された。

4. 放射線治療の医学物理について

(独) 放射線医学総合研究所 名誉研究員
河内 清光 先生

放射線は人体への影響と言う観点で危惧されていますが、放射線治療は、がん治療の有力な手段の一つです。ここでは何故がんを放射線で治療できるのか、害は無いのかを考えます。全てのがんを放射線で治すことはできないのですが、がんの種類や性質を良く知った上で、適切な放射線を選べば治癒する可能性も高くなります。また、放射線は、がんを治すだけでなく、痛みを緩和するために使われることもあります。どんな治療を受けているのかを正しく知ることも大切です。

放射線治療で大切なことは、がん病巣とその周辺のがん細胞が広がっている標的領域を狙って、正確に放射線を集中させることが重要です。そして、標的領域に近接する重要臓器や正常組織への照射はできる限り控えなければなりません。そのために適切な放射線を選択し、標的領域に放射線を集中させる技術を開発してきました。日本では、まだ聞き慣れない言葉ですが、医学物理と言う分野の人々が、ここに大きな役割を果たしています。

最近の医学は、いろいろな分野で目覚ましい進歩を遂げています。なかでも、がんの放射線治療は、陽子線や炭素線といった粒子線の登場で話題を呼んでいます。従来からの X 線を使った放射線治療も、装置や技術の進歩で IMRT (強度変調放射線治療) といった、人に優しい高精度の治療法が実現しました。しかし、これら技術の進歩とともに、その精度と治療の質を維持するために、放射線治療の品質保証、治療装置や周辺機器の品質管理、そして新たな照射技術の開発というところに医学物理の介入が必要になってきました。また、最近の医療過誤の実態からも、医学物理の重要性が取り上げられるようになりました。

今日は、これまでに放射線治療に使われてきたいろいろな放射線源について物理的観点から、今日の話題となっている中性子捕捉療法、陽子線治療や炭素線治療に至る経緯について紹介します。



河内 清光 (かわち きよみつ)

昭和 14 年 5 月 鹿児島県枕崎市生
千葉県千葉市在住
東海大学工学部卒
昭和 38 年 4 月 放射線医学総合研究所 入所 研究員
昭和 45 年 6 月 国立がんセンター出向 研究員
昭和 47 年 1 月 シカゴ大学アルゴンヌ癌研究所 研究員
昭和 50 年 4 月 放射線医学総合研究所 物理研究部 主任研究員
平成 5 年 12 月 同 医用重粒子物理・工学研究部長
平成 12 年 3 月 同 研究総務官 定年退職
平成 12 年 6 月 (財) 原子力安全技術センター 特任参事
平成 16 年 9 月 同 防災技術センター所長 定年退職
平成 18 年 5 月 財団法人 医用原子力技術研究振興財団 評議員
平成 17 年 鹿児島大学客員教授

受 賞: 平成 11 年 4 月 研究功績者表彰 科学技術長官賞

5. 重粒子線治療の現状について

(独) 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院 治療課長
鎌田 正先生

原子核あるいは原子核を構成する粒子を光速近くまで加速したものは粒子線と呼ばれ、照射された物質や細胞にさまざまな変化を与えることが可能となります。粒子線の中でも原子番号が2より大きな原子の原子核を加速したものは重粒子線と呼ばれ、加速された速さに応じて一定の深さで大量のエネルギーを一気に放出し、それより先にはほとんど影響を与えないと同時にその付近での生物効果は従来の放射線に比べると数倍強いとされています。このような重粒子線の特長を利用すれば体の奥深くにあるがんでも切らずに治すことが期待できます。放射線医学総合研究所（放医研）では1994年以来、様々ながんにおいて炭素原子核を加速した重粒子線（炭素線）を安全かつ有効に使うための臨床研究を行ってきました。そのために各臓器あるいは疾患毎の専門家グループによる臨床試験プロトコルの作成から結果の評価までを客観的に行うシステムを構築しています。このシステムにより炭素線を用いた臨床試験はこれまでに50近くが実施されており、これらを通じて個々の疾患に適した線量分割法の開発や、呼吸同期照射法など照射技術の開発、およびPETを中心とした新しい画像診断法の治療への応用などが行われてきました。その結果、手術困難な骨軟部肉腫や直腸癌の術後局所再発などの難治性がんを治療に導くことが可能となり、前立腺、頭頸部、肺、肝臓などがんでは、同じ治すにしてもより短期間で安全に治せることなどが明らかとなりました。これらの研究成果は20を超える英文原著論文として海外の有力雑誌に発表され、炭素線治療の重要なevidenceとなっています。2003年には放医研における炭素線治療は（高度）先進医療として承認され、治療患者数は年を追うごとに増加し、最近では年間500名以上となっています。2007年8月までの炭素線治療総数は、世界4施設で約4000名程度になりますが、その更なる普及を目的とした炭素線治療装置の小型化研究の結果、サイズ、費用ともに現在の装置の約3分の1が実現され、その実証器が2010年の治療開始を目指して群馬大学で建設中です。また、ドイツ、イタリア、フランスなどヨーロッパ諸国を中心に炭素線治療装置が複数建設中で、炭素線治療は安全・確実ながん治療法としての地位を確立しつつあります。これは放医研において行われてきた炭素線治療の成果が海外においても認められ、重要ながん治療の一つとして認知されたことを示すものです。現在、さらに放医研では次世代の炭素線照射装置の実現に向けて、呼吸移動に対応したスキヤニング照射装置および回転ガントリー照射装置の開発のための要素技術研究が実施されています。これらは、これまでの常識を覆すような低価格化を目指したものとなっています。一方、重粒子線治療の実施には専門的知識を持った幅広い人材の確保が不可欠であり、そのための人材育成プログラムが策定され、本年度より国内の粒子線治療施設が中心となって開始されています。

**鎌田 正 (かまだ ただし)**

現 職：(独)放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院治療課長

専 門：重粒子線医学

昭和 54 年 北海道大学医学部医学科卒業

平成 6 年 放射線医学総合研究所重粒子治療センター治療診断部治療課医長

平成 13 年 千葉大学大学院医学研究院助教授併任

平成 15 年 現職

平成 18 年 放射線医学総合研究所重粒子医科学センター臨床治療高度化研究グループリーダー
診断・治療高度化研究グループリーダー

6. 陽子線治療の現状について

—筑波大学陽子線医学利用研究センターの紹介も含めて—

筑波大学大学院人間総合科学研究科 先端応用医学専攻 准教授
徳植 公一 先生

陽子線はブラッグピークという通常の放射線治療で用いるX線にはない性質を持っています。すなわち、体に入ると周囲に与える線量が増えてゆきそれに伴い体に与える影響が大きくなり、予め設定しておいた一定の深さに位置するがん病巣に達すると、与える線量がピークに到達するとともにその影響が最大となり、それより深部では与える線量がゼロになり体には何の影響も与えなくなります。また、現在の病院に付設されている陽子線治療装置には回転ガントリーという観覧車のような装置が装備されていて、この装置により陽子線を体のどの方向からも当てることができ、しかも一日に多くの方向から当てることができるようになりました。従って、陽子線を当てる場所を適切に選べば、正常な部分のダメージを最小にできますし、いくつかの方向から当てれば、がんの手前にある正常な部分の線量も減らせますので、がんに極めて高い線量を入れても、周りの正常部分に当たる線量を十分に減らすことができます。このように、陽子線治療は放射線をがんに集中的に当てるためのすぐれた放射線治療装置と言えます。

現在の陽子線治療の状況は、陽子線をさらに集中的に効率的に当てようとする研究を物理の専門スタッフが進めていますし、医療の現場では陽子線治療が本当に優れた治療であるということを示すための説得力のあるデータを集めている段階です。ここでは、はじめに陽子線治療の原理と治療方法を紹介し、実際の治療の話に発展させて行きます。陽子線治療はまだ始まったばかりの治療ですので、ここで紹介する治療データは十分ではありませんが、有効な治療法の一つであるということは間違いありません。当院で中心的に進めている肝細胞がんや肺がんなどの治療の結果や実際の患者さんの写真を供覧しながら、陽子線治療の有効性を実感していただくとともに、がんの有効な治療法の一つに陽子線治療があるということを理解いただければ今回の講演の目的は達したと考えています。



徳植 公一 (とくうえ こういち)

筑波大学大学院人間総合科学研究科先端応用医学専攻 准教授

昭和 56 年 大阪大学医学部卒業

平成 3 年 国立がんセンター中央病院勤務

平成 13 年 筑波大学臨床医学系放射線腫瘍科

領 域：放射線治療一般、定位放射線治療、陽子線治療



○がんの放射線治療 ほう素中性子捕捉療法 (BNCT)

第二部 後半

座長

松村 明 先生

筑波大学附属病院副病院長
筑波大学陽子線医学利用研究センター長

松村 明 (まつむら あきら)

昭和 29 年 10 月生

学 歴: 昭和 49 年 4 月 入学 筑波大学医学専門学群
昭和 55 年 3 月 卒業 筑波大学医学専門学群

職 歴: 昭和 55 年 4 月 筑波大学附属病院脳神経外科医員
平成 4 年 2 月 筑波大学講師 (臨床医学系脳神経外科)
平成 14 年 12 月 筑波大学助教授 (臨床医学系脳神経外科)
平成 16 年 3 月 筑波大学教授 (臨床医学系脳神経外科)、大学院博士課程研究指導担当
平成 18 年 4 月 1 日～現在 日本原子力研究開発機構、研究炉医療照射委員会委員長
平成 18 年 7 月 1 日～現在 国立大学法人筑波大学学長補佐
平成 19 年 4 月 筑波大学附属病院副病院長、筑波大学陽子線医学利用研究センター長

受賞歴: 昭和 61 年 10 月 B.Braun Stifutng 奨学財団
平成 11 年 12 月 がん集学的治療財団一般研究助成受賞 (脳腫瘍の選択的 α 粒子線治療)
平成 12 年 12 月 桐仁会設立 10 周年記念臨床研究助成金受賞 (脳腫瘍の光線力学的診断)

研究歴: 平成 6 年より、東海村日本原子力研究所 (日本原子力研究開発機構) にて悪性脳腫瘍の中性子捕捉療法の臨床研究に従事。
平成 10 年 9 月～現在 国際中性子捕捉療法学会会員、評議員

7. BNCT - 究極の放射線治療を目指して

川崎医科大学 放射線科 (治療) 准教授
平塚 純一 先生

ほう素中性子捕捉療法 (boron neutron capture therapy : 以下 BNCT) は、ほう素 (^{10}B) と熱中性子との核分裂反応で生じる高 LET 放射線を用いてがん細胞のみを破壊する放射線治療です。核分裂反応というどうしても核爆弾のイメージがあり、その影響 (エネルギー) は何 km にも及ぶと思ってしまうますが、ほう素と熱中性子の核分裂反応で発生する高 LET 放射線 (α 粒子) のエネルギーは $10 \sim 14 \mu\text{m}$ すなわちがん細胞 1 個の直径に等しい距離しか及びません。そのためがん細胞だけにほう素が取り込まれ、周囲の正常細胞にはほう素が取り込まれなければ、熱中性子照射によりほう素が存在するがん細胞のところでのみ核分裂反応が生じ、その影響は隣の正常細胞には届かないこととなります。このような理由で BNCT は「がん細胞選択性治療」とも言われています。その利点を以下に挙げてみます。

1. **治療効果が予測できる事** 実際の治療に用いるほう素化合物・BPA に ^{18}F をラベルした化合物 (^{18}F -BPA) を用いて PET 検査を行うことでがん病巣へのほう素取り込み量を事前に把握できる。治療前にその効果が予測できるということは、効果の期待できない無駄な治療で患者さんが苦しむこともなく、限りある医療資源の無駄遣いを減らす事にも繋がります。
2. **照射範囲 (治療範囲) が広く取れる事** 従来の放射線治療では腫瘍の浸潤範囲と周辺正常組織の有害事象とのバランスの上に照射範囲を決定していました。一方、BNCT では比較的広い照射野設定が可能で腫瘍細胞を照射野外に逃がさなくて済みます。何故なら、照射範囲に含まれても正常細胞にほう素が取り込まれていなければ、中性子照射により核分裂反応は生じないので、正常組織はほとんどダメージを受けないからです。
3. **生物学的効果比が非常に高い事** ボクシングに例えれば、従来の放射線治療で用いられる X 線がフライ級のパンチとすると α 粒子はヘビー級のパンチに相当します (高 LET 放射線)。
4. **原則 1 回の照射で終了する事** 手術、放射線治療、抗癌剤治療では、1 ~ 2 ヶ月間の入院・外来治療が必要ですが、BNCT の実質治療期間は 1 日です。

川崎医科大学に BNCT 目的で紹介される患者数は年々増えてはいますが、その認知度は低く、多くの難治性頭頸部癌患者が何の治療も受けられず不安な日々を送っていると思われまます。いわゆる「がん難民」と呼ばれる人々に対して、新たな治療法として BNCT を提示することは、国民への義務と考えると同時に患者さんにとってもたいへんな福音と考えています。



平塚 純一 (ひらつか じゅんいち)

生年月日：昭和 30 年 1 月

略 歴：昭和 56 年 3 月 神戸大学医学部卒業
 昭和 56 年 4 月 神戸大学医学部放射線医学教室 (研修医)
 昭和 57 年 1 月 川崎医科大学放射線治療学教室 (研修医)
 昭和 58 年 4 月 同 (助手)
 昭和 58 年 7 月 兵庫県立成人病センター放射線科 (医員)
 昭和 61 年 10 月 川崎医科大学放射線治療学教室 (助手)
 昭和 63 年 4 月 同 (講師)
 平成 11 年 4 月 同 (助教授)
 平成 18 年 4 月 川崎医科大学 放射線科 (治療) 准教授
 現在に至る

研究テーマ：前立腺癌の放射線治療、癌の硼素中性子捕捉療法

8. BNCT に貢献する原子力技術

(独)日本原子力研究開発機構 研究炉加速器管理部 副主任研究員
熊田 博明 先生

“ほう素中性子捕捉療法”もしくは“BNCT” (Boron Neutron Capture Therapy) という治療法について説明します。BNCT は中性子を媒体として用いる放射線治療ですが、エックス線治療などの他の放射線治療とは原理的に異なり、正常細胞内のがん細胞が浸潤しているがん細胞を選択的に破壊できることから、がん細胞選択的粒子線治療とも呼ばれ、難治性がんである悪性脳腫瘍などの治療法として、近年、注目を集めています。

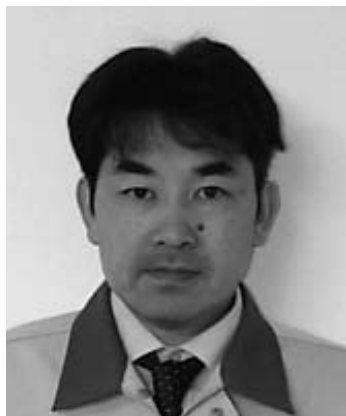
BNCT を行うためには中性子を発生する施設、すなわち原子炉が必要であり、国内では日本原子力研究開発機構 (原子力機構) にある研究用原子炉「JRR-4」と京都大学原子炉実験所の研究用原子炉「KUR」に BNCT 用の医療照射設備があり、現在この2つの原子炉を使って臨床研究が行われています。

原子力機構の JRR-4 に整備されている BNCT 用の中性子ビーム設備は、原子炉で発生した中性子を患者の症状に合わせてエネルギーを調整し、治療に適切な中性子ビームを発生することができます。例えば、がんが皮膚に表在している悪性黒色腫 (皮膚がんの一種) に対しては、表面にだけ治療効果を与える低いエネルギーの中性子を発生し、深部の正常組織には中性子が届かないようにします。一方、悪性脳腫瘍などに対しては、少し高いエネルギーの中性子を発生させ、脳内深部まで中性子を送り込みます。この中性子照射設備を用いて JRR-4 では悪性脳腫瘍に対する臨床研究が平成 11 年から実施されています。

また、原子力機構では中性子照射によって患者に与えられる線量を計算によって高精度に評価するソフトウェア、“JCDS” (JAEA Computational Dosimetry System) を開発、実用化しました。JCDS は、患者の医療診断画像である CT (Computer Tomography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging) などのデータを取り込んで患者の 3 次元モデルを形成します。この 3 次元モデルに対して中性子を入射する角度やビーム孔の大きさなどの照射条件を設定して計算を実行し、患部や周辺の正常組織に与えられる線量を評価します。JCDS の開発によって、治療前に様々な条件での照射シミュレーションを実施し、その患者に対して最適な照射条件を導くことが可能になりました。

周囲の正常な組織は温存しつつ、がん細胞だけを選択的に破壊できるという利点から、近年の BNCT 研究では悪性脳腫瘍だけでなく、まだ有効な治療法が確立していないがんに対しても適用が広がっています。原子力機構ではこれら新しい部位のがんにも照射できる技術を開発して対応し、平成 17 年には頭頸部がん、悪性黒色腫に対する臨床研究が開始され、平成 18 年からは肺腫瘍、脳髄膜腫に対する臨床研究が実施されています。これにより JRR-4 での臨床件数は飛躍的に増大し、これまでに 100 症例近くの臨床が実施されました。

今後は、乳がん、肝臓がんなどに対する BNCT も計画されており、原子力機構ではこれらのがんに対応するための技術開発を行っています。また症例数の増大にも対応するため、一日により多くの患者を照射できる技術を開発するとともに、中性子照射・制御技術の高度化、線量評価の高精度化を図り、このがん治療法の確立に貢献して行きます。



熊田 博明 (くまだ ひろあき)

所 属：日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
研究炉加速器管理部

職 位：副主任研究員

学 位：医学博士

専門分野：医学物理、中性子工学、中性子捕捉療法の物理・工学分野

各学会等の役職：Board of Councilor; International Society for
Neutron Capture Therapy
日本中性子捕捉療法学会 幹事

平成 6年3月 茨城大学大学院 工学科機械工学専攻修了 工学修士

平成 6年4月 日本原子力研究所(現、日本原子力研究開発機構)入所

平成 8年～現在 JRR-4 で実施されている BNCT 研究に従事

平成 17年 学位(医学)取得 筑波大学大学院 人間総合科学研究科
機能制御医学専攻

受賞等：平成 18年度 文部科学大臣賞 若手科学者賞

平成 16年度 日本原子力学会賞 技術賞

平成 16年度 日本原子力学会北関東支部

若手科学者発表会 最優秀発表賞

○粒子線治療・BNCT・地域医療協力者を交えての フリーディスカッション

第三部

コーディネーター

筑波大学附属病院副病院長
筑波大学陽子線医学利用研究センター長

松村 明 先生

出席の先生

(独)放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院

治療課長 **鎌田 正 先生**

筑波大学大学院人間総合科学研究科先端応用医学専攻

准教授 **徳植 公一 先生**

筑波大学大学院人間総合科学研究科機能制御医学専攻
脳神経機能制御医学

講師 **山本 哲哉 先生**

川崎医科大学 放射線科 (治療)

准教授 **平塚 純一 先生**

東海村立東海病院

病院長 **大場 義幸 先生**



山本 哲哉 (やまもと てつや) (講師)

(Tetsuya Yamamoto)

昭和 40 年生

平成 1 年 筑波大学医学専門学群卒

日本脳神経外科学会専門医

日本原子力研究開発機構研究嘱託

日本がん治療認定医機構暫定教育医

博士 (医学)

筑波大学附属病院医員、筑波大学大学院博士課程医学研究科卒。

茨城県立中央病院医務局医長などを経て

現在、国立大学法人筑波大学大学院人間総合科学研究科機能制御医学専攻
脳神経機能制御医学 (脳神経外科学) 講師

専門分野: 脳腫瘍手術治療、神経膠腫の集学的治療、神経膠腫の治療研究、
特に中性子捕捉療法



大場 義幸 (おおば よしゆき)

昭和 36 年 10 月生

千葉県柏市在住

昭和 55 自治医科大学卒業

宮城県技術吏員 (国立仙台病院出向 初期臨床研修)

昭和 57 宮城県古川市立病院 整形外科医員

昭和 59 自治医科大学地域医療学 助手

昭和 60 宮城県牡鹿町立網地島診療所 所長

平成 1 自治医科大学大宮医療センター 総合医学 I 助手 (外来医長)

平成 3 (社)地域医療振興協会 石岡第一病院 整形外科 (副院長)

平成 17 (社)地域医療振興協会 地域医療部 東海病院開設準備室
本部長

平成 18 村立東海病院 院長 (兼 管理者)

日本体育協会公認 スポーツドクター

初期研修指導医

産業医 (日本医師会公認)

日本整形外科学会会員

日本医学教育学会会員

日本救急医学会会員

日本褥瘡学学会会員

解 説

◇ 「がん対策基本法」

平成 18 年 6 月 23 日制定され、平成 19 年 4 月 1 日より施行されている。

○ <http://law.e-gov.go.jp/announce/H18HO098.html>

◇ 「PET」

放射性同位元素（ラジオアイソトープ）の発するガンマ線を撮像する検査法です。人間の体は、エネルギー源として糖質を必要とします。がん細胞は、正常の細胞の3～8倍もの糖質を使うため、がん細胞にはたくさんのブドウ糖が集まります。ブドウ糖に放射性同位元素（ ^{18}F ）を付着させたFDG（フルオロ・デオキシ・グルコース）という薬剤を注射して、体内に入ったFDGの集積度合いを撮像することで、がん細胞を見つけます。

また、アミノ酸代謝を利用し、放射性同位元素（ ^{11}C ）によるメチオニンという薬剤も使われています。

CT検査やMRI検査では、「大きさや形」などの形態の変化によってがんを発見しますが、PETでは細胞の「働き」を視覚的（ブドウ糖を取り込むところだけが光る）にとらえることによってがん細胞を発見することができます。

PETは一度に全身を検査することができますので、複数のがんや転移の発見や治療効果の確認などに大変役立ちますし、毎年定期的に受診することでがんの再発の有無もチェックできます。また、良・悪性の区別、がんの進行の度合いが推定できます。

○ http://www.juryushi.org/pet/pet_map.html

◇ 「粒子線がん治療」

ガンマ線、エックス線、電子線などは体外から照射すると、線量は体の表面近くで最大となり、それは徐々に減衰しながらどこまでも進みます。陽子、炭素イオンなど高いエネルギーの粒子線が人体内に入ると、粒子の到達する深さ（飛程と呼びます）が定まり、その飛程の終端近くで線量が急激に放出され止まります。この現象はブラッグピークと呼ばれています。加速器を用いて粒子線のエネルギーを調節し、腫瘍の部分で粒子が止まるようにすれば、この現象を利用して体表面から照射の道筋にある正常な細胞にあまり影響を与えず、腫瘍細胞だけに線量が集中し、がんを殺傷することができます。この様な、加速器を用いて陽子や炭素イオンを加速し行うピンポイント治療を総称して「粒子線治療」と呼びます。

○ 重粒子線治療「切らずに治す重粒子線がん治療」のホームページ <http://www.juryushi.org/>

○ (独)放射線医学総合研究所重粒子医科学センター病院のホームページ <http://www.nirs.go.jp/hospital/>

○ 筑波大学陽子線医学利用研究センターのホームページ <http://www.pmc.tsukuba.ac.jp/>

◇ 「中性子捕捉療法」

中性子捕捉療法は、がん細胞と正常細胞が霜降り肉状態に入り組んだがんなどの、正常細胞を壊さずにがん細胞だけを攻撃することが可能な治療法です。患者にはあらかじめがん細胞に集まりやすく、正常細胞には集まりにくいほう素化合物を投与します。がん細胞にほう素化合物が蓄積した時点で、原子炉から出る熱外中性子を照射します。がん細胞に取り込まれたほう素に中性子が当たると核分裂反応によって α 線とリチウム線が生じます。これらの高エネルギー粒子線は飛程が細胞の大きさ程度であることと、がん細胞を殺す力が強いことが特徴です。この結果、ほう素化合物を取り込んだがん細胞のみが選択的に殺されることとなります。また、熱外中性子は正常細胞に障害を与えない程度の量を照射します。この治療は研究段階であり、保険の適用は受けられません。

○ 中性子捕捉療法のホームページ http://www.antm.or.jp/02tech.info/BNCT/BNCT_menu.html/

○ http://www.antm.or.jp/02tech_info/BNCT/BNCT_genri.html

○ 日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所ホームページ <http://www.jaea.go.jp/04/ntokai/index.html>

○ 京都大学原子炉実験所ホームページ <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/index/iryu.html>

メ モ

A series of 18 horizontal dashed lines for writing.

メ モ

A series of horizontal dashed lines for writing.

財団法人 医用原子力技術研究振興財団 広報誌のご紹介

医用原子力だより 掲載内容

●第1号 平成16年11月発行

- 巻頭言（森亘理事長）
- ・財団の紹介
 - ・事業活動
 - ・解説（粒子線がん治療および中性子捕捉療法）
 - ・普及型粒子線がん治療装置の紹介
 - ・粒子線がん治療の現状・装置導入計画

●第2号 平成17年6月発行

- 巻頭言（阿部光幸理事）
- ・事業活動
 - ・解説（PET によるがん診断）
 - ・中性子捕捉療法
 - ・粒子線がん治療の現状・装置導入計画

●第3号 平成18年2月発行

- 創立10周年記念号
- ・巻頭言（森亘理事長）
 - ・関係各者・機関からのご祝辞
 - ・設立当時の思い出
 - ・事業活動

●第4号 平成18年6月発行

- 巻頭言（垣添忠生理事）
- ・事業活動
 - ・解説（画像診断の最先端）
 - ・粒子線がん治療
 - ・わが癌闘記（宮原哲夫・作詞家）
 - ・中性子捕捉療法

●第5号 平成18年11月発行

- 巻頭言（佐々木康人理事）
- ・第3回医用原子力技術研究振興財団 講演会
 - ・群馬大学の重粒子線がん治療装置
 - ・解説（肺がんの重粒子線治療の現状と展望）
 - ・前立腺がんの重粒子線治療体験記（野田隆志）
 - ・第12回国際中性子捕捉療法学会を主催して
 - ・ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)とホウ素薬剤

●第6号 平成19年6月発行

- 巻頭言（田畑米穂理事）
- ・群馬大学重粒子線照射施設
 - ・解説（ホウ素中性子捕捉療法による頭頸部悪性腫瘍の治療の現状と展望）
 - ・JRR-4 医療照射設備のご紹介
 - ・京都大学原子炉実験所(KUR)で治療を受けて

●第7号 平成20年3月発行予定

このページに必要事項を記入し、FAX してください。

FAX : 03-3504-1390

- 第1号
 第2号
 第3号
 第4号
 第5号
 第6号
 第7号

今後継続して送ってほしい
送付を希望する広報誌にチェック
を入れてください

〒(郵便番号):

送付先住所:

会社名:

(所属):

氏名:

電話番号:(勤務先・自宅)

メールアドレス:

広報誌申し込みのお問い合わせ先:(財)医用原子力技術研究振興財団 調査部

電話:03-3504-3961 / FAX:03-3504-1390

E-mail: info@antm.or.jp / URL: http://www.antm.or.jp

※個人情報保護:ご記入いただきました個人情報は、財団の広報活動に限り使用させていただきます。



(財)医用原子力技術研究振興財団

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-8-16 第2升本ビル

TEL:03-3504-3961 FAX:03-3504-1390

<http://www.antm.or.jp>

新しい情報はホームページに掲載いたしますのでご覧ください。

重粒子線治療「切らずに治す重粒子線がん治療」のホームページ

<http://www.juryushi.org/>