

# 化学から生理学へ ―出合いに感謝を込めて―

内 田 勝 雄

## My research history from chemistry to physiology —With appreciation to precious chance meetings—

Katsuo UCHIDA

### はじめに

公立大学法人山形県立保健医療大学を定年退職するにあたり、青柳 優学長のご高配により最終講義の機会を与えられ、2014年3月3日に真壁 寿理学療法学科長の司会で同大学講堂において「化学から生理学へ ―出合いに感謝を込めて―」と題して最終講義をさせていただきました。ご準備くださいました関係各位、当日ご参加くださいました皆様、そしてこれまでお世話になりました多くの方々的心より感謝申し上げます。

### 1. 化学から生理学への道程

中学生のころ『空気の発見』<sup>1)</sup>を読んで、こんな面白い世界があるのかと化学に興味を抱き、高校生になって『生命の起源と生化学』<sup>2)</sup>を読んで生化学を勉強したいと思った。大学は化学系の学科に進学したが、他学科聴講で聴いた固体物理学の講義で結晶の格子振動で遠赤外線共鳴吸収が起こることを知った。卒業研究（以下、卒研）で電磁波共鳴吸収について研究をしたいと思い、構造化学（物理化学の一分野で、電磁波と物質の相互作用から分子構造を解析する学問分野）の研究室に入った。その研究室で修士課程に進み、イオン結晶の格子振動について遠赤外反射スペクトルと偏光ラマンスペクトルを手段に研究した。より

高いエネルギーの電磁波（紫外線、可視光線）の共鳴吸収で起こる電子吸収スペクトルや電子状態間の遷移による蛍光、燐光の研究をしたいと思い、博士課程は別の大学で気体分子の電子エネルギー緩和について研究した。博士課程修了後、蛍光を生理学の研究に活かすために医学部の生理学教室に就職し、その後保健医療大学で引き続き生理学の研究、教育に従事した。それぞれの場で恩師、先輩、同僚、後輩、そして学生、院生との貴重な出合いがあった。

### 2. 卒研および修士課程での研究

1968年に早稲田大学理工学部応用化学科に入学したときは生化学を勉強したいと思ったが、入学後は物理化学が面白くなり、卒研では光（電磁波）の共鳴吸収で分子の構造を研究する構造化学の研究室を選んだ。当時、早稲田大学理工学部には構造化学の研究室として東 健一先生と高橋博彰先生の研究室があった。東先生は北海道大学名誉教授の60歳代半ば、高橋先生は東京大学理学部化学科から赴任された30歳代半ばの教授で親子ほどの年齢差があったが、ゼミも共同で行い、ひとつの研究室のように機能していた。東先生、高橋先生は東京大学理学部化学科のご出身で水島三一郎先生の門下である。北海道大学の博士課程でご指導いただいた馬場宏明先生もご同門で、『回想の水

---

山形県立保健医療大学 名誉教授  
〒990-2212 山形県山形市上柳 260  
Professor Emeritus,  
Yamagata Prefectural University of Health Sciences  
260 Kamiyanagi, Yamagata, Yamagata, 990-2212, Japan

(受付日 2014. 12. 22, 受理日 2015. 2. 13)

島研究室「科学昭和史の一断面」<sup>3)</sup>を書いているらっしゃる。

東先生の研究室では 100 GHz ( $10^{11}$  Hz) のマイクロ波で双極子モーメントの研究、高橋先生の研究室（以下、高橋研）では赤外・遠赤外線吸収やラマン効果で振動スペクトルの研究をしていた。100 GHz のマイクロ波は波長にすると 3 mm で、高橋研の遠赤外分光装置で測定出来た最も長い波長が約 0.33 mm ( $30\text{ cm}^{-1}$ ) だったので、波長が最も短い電波と波長が最も長い光を使った構造化学の最先端の研究であった。東先生は『近代物理化学』<sup>4)</sup>という本を書いているらっしゃるが、まさにこの分野は 20 世紀に発展した新しい物理化学であった。

卒研では強誘電体のリン酸二水素カリウム ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) や液晶の分子内振動について研究した。当時の高橋研には遠赤外分光装置、レーザーラマン分光装置など国立大学にも引けを取らない最先端の装置があった。卒研を行っている時期は本来ならば就職活動も併行して行うときであるが、構造化学の研究をさらに進めたいと思い、就職活動はせずに 1972 年に高橋研の修士課程に進学した。修士課程では、硫酸アンモニウム単結晶の格子振動について研究した。硫酸アンモニウム、すなわち硫酸は肥料として知られているが、低温で強誘電体（硫酸型強誘電体）の性質を示すので、その物性と格子振動がどのように関係するか明らかにしたいと考えた。硫酸アンモニウムの溶液から単結晶を作成するのは簡単ではなかったが、きれいな形の単結晶が出来たときはうれしかった。測定は常温の非強誘電体相でしか出来なかったが、結晶の劈開で結晶軸がわかり、偏光ラマンスペクトルを測定することが出来た。因子群解析による対称種の分類および重水素置換によるアンモニウムイオンの並進格子振動の同定について日本化学会の英文誌に投稿したのが私の最初の研究論文<sup>5)</sup>である。この論文で東先生のお名前の英文表記が Higasi K と知ったので、東先生にお尋ねしたところ、先生がご研究を始められたころ Higashi K という署名の研究論文があったので、区別して Higasi にしたということであった。ご高名な東先生でもそのようなときがあったのだと感じた。東先生のご著書『緩和現象の化学』<sup>6)</sup>が 1973 年 11 月に上梓されたとき早速購入し、扉に何かお言葉

をいただけないでしょうかと思いついてお願いさせていただきました。そこに「内田勝雄君 I have become neither a proper experimentalist nor a proper theorist, but a middleman between experiment and theory—and between chemistry and physics. R. S. Mulliken の回想に出て来る middleman の道を誠実に歩かれることを祈りて 東 健一 S 48. 12. 21」とお書きいただき大変感激した。1966 年にノーベル化学賞を受賞したアメリカの化学者マリケン Robert Sanderson Mulliken の足下にも遥か遠く及ばないが、middleman の道を誠実に歩んだということは、東先生にご報告できると思う。

硫酸アンモニウムの偏光ラマンスペクトルの結果と遠赤外反射スペクトルの解析結果をまとめて修士論文とした<sup>7)</sup>。反射スペクトルは、Kramers-Kronig の関係式による解析で吸収スペクトルでは求められない結晶の複素誘電率、屈折率などの光学定数も得られて興味深かった。反射スペクトルの解析は、FORTRAN でプログラムを書いて、カードに打ち込んで、それを大学の計算センターに持って行き計算してもらった。まだパソコンなどなかった時代である。

研究室の学生有志で夕食後に『物理数学』<sup>8)</sup>を読んだことも楽しかった。卒研や修士論文のテーマに関係する理論の基礎を学べてこの本は大変面白く、背表紙の書名が消えて見えなくなるくらい読んだ。この本で学んだ自己相関関数のフーリエ変換がパワースペクトルになるというウィナー・ヒンチンの定理 Wiener-Khinchin's theorem は、結晶の X 線構造解析とも関係して興味深かった。固体物理学にはロシア語の論文も多く、院生同士でロシア語の勉強をしたこともあった。

### 3. 博士課程での研究

分子は原子から出来ていて、原子はミクロに振動しているので赤外線を共鳴吸収する。それが振動スペクトルと呼ばれるものである。O<sub>2</sub> は直線的な等核二原子分子なので振動しても双極子モーメントの変化がなく赤外線を吸収しないが、CO<sub>2</sub> や水は非直線分子なので振動により双極子モーメントが変化して赤外線を吸収する。赤外線を吸収するので CO<sub>2</sub> が温室効果ガスと言われる。生理学で私が専門にしている呼気ガス分析で、赤外線吸収

でCO<sub>2</sub>は定量できるが、O<sub>2</sub>は出来ないのもそのためである。原子の周りには電子があり、電子状態間の遷移は赤外線よりエネルギーが大きい可視光線や紫外線の共鳴吸収で起こる。これが電子スペクトルである。可視光線や紫外線を吸収して高い電子エネルギー状態に遷移し、そこから低いエネルギー状態に戻るときの発光が蛍光や燐光である。スピン多重度が同じ電子状態間の発光が蛍光で、スピン多重度が異なる電子状態間の発光が燐光である。一般に基底状態は一重項状態 (S<sub>0</sub>) なので、最低励起一重項状態 (S<sub>1</sub>) からの発光は蛍光で、最低励起三重項状態 (T<sub>1</sub>) からの発光は燐光である。電子状態のサブレベルとして振動状態、さらに振動状態の中に微小な回転状態がある。卒研や修士課程で行った研究は、S<sub>0</sub>の振動状態の解析である。

博士課程で電子状態の研究をしたいと思い、1974年に北海道大学大学院理学研究科博士課程を受験した。このときの試験は英語と修士論文の研究発表であった。まだPowerPointなどない時代で、模造紙(大判用紙)とマジックペンを渡されて、その場で手書きでポスターを作って発表した。この時代は論文に載せる図もロットリングペンとステンシルで描いた。描いた図の写真を撮り、暗室で現像したり、スライドを作ることも自分で行った。デシケータに少量のアンモニア水を入れて錯体反応で青色のスライドを作ることもしたが、狭い暗室の中でアンモニアの臭に悩まされた。ワープロもないので原稿は英文タイプライターで打った。打ち間違いや書き直しで何度も打っているうちにタッチタイピングが出来るようになった。自分が持っていたタイプライターはハンマーで文字を打つ手動式だったが、研究室には電動タイプライターがあって軽く打てるので楽であった。そのタイプライターに修正用の白いテープが付いて、打ち間違ったら1文字元に戻して白いテープでその文字を打てば消える機種が出たときは感激した。

学会発表は、全国のこの分野の研究者、院生等が一堂に会する年1回の「分子構造総合討論会」が中心で、毎年この学会で発表することが最低限のことであった。その予稿はB5版見開き2ページの手書きで、図表はそこに貼り付けた。院生が夏に数日間、涼しい山間地に合宿して論文を読ん

で討論する「分子科学夏の学校」があった。若手の教員や年長の院生が講師になってテーマ別に勉強した。全国の他大学の院生とゆっくり話し合えて、学会とはまた違うよい経験であった。

博士課程で所属したのは応用電気研究所(現電子科学研究所)化学部門の馬場宏明先生の研究室で、蛍光や燐光で日本最高の研究室と言えるところであった。ベンゼン環に窒素原子が2個入ったジアザベンゼンのひとつピリミジン(C<sub>4</sub>N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)分子の気体状態での電子エネルギー緩和が私の研究テーマになった。ピリミジンは溶液状態の発光は測定されていて、燐光は強いが蛍光は極めて弱いことが知られていた。ピリミジンに限らず気体状態の有機分子の発光の報告はまだ少なかった。

応用電気研究所(以下、応電研)には当時、世界最高レベルの高感度分光装置があった。これは電子計測開発施設の進藤善雄氏らの手になるものである。進藤氏は馬場先生と共著で、『新実験化学講座』に「微弱光の測定法」<sup>9)</sup>を書いていらっしゃるからわかるように微弱光測定の第一人者であった。光電効果で光子のエネルギーを電気エネルギーに変換して増幅する光電子増倍管(フォトマル)を用いて微弱な蛍光を検知した。高感度のフォトマルでも低圧の気体の蛍光は徹夜で積算しないと測定出来なかった。信号/雑音比(S/N)は積算回数の平方根に比例するので積算回数を増やせば増やすほどきれいなスペクトルが得られる。試料が無生物なので徹夜の長時間測定も可能であった。応電研はガラス工作室と機械工作室も最高レベルで、教えていただいた旋盤技術やガラス工作技術は生理学に移ってから役立った。

博士課程で最初に行った研究は、高感度分光装置で測定した気体ピリミジンのS<sub>1</sub>の振動ゼロ準位からの蛍光測定とそこに現れたS<sub>0</sub>の振動構造の解析であった<sup>10)</sup>。この振動解析には早稲田時代に勉強した振動スペクトルの知識が役立った。

蛍光スペクトルには励起波長を固定して、現れる蛍光を分光器を使ってスペクトルとして測定する発光スペクトル(emission spectrum)と、それとは逆に蛍光を分光せずに広い波長で測定しながら励起波長を分光してスキャンさせる励起スペクトル(excitation spectrum)がある。励起スペクトルは、その蛍光にどの波長の励起がどれだけ寄与す

るか測定したもので、溶液状態の蛍光ならば励起スペクトルは吸収スペクトルと一致する。なぜなら、溶液状態では分子と溶媒との相互作用が強いので、どの波長で励起しても蛍光は  $S_1$  の振動ゼロ準位から出て来るからである。溶液状態ではピリミジンの  $S_1$  から  $T_1$  への不可逆的エネルギー移動も起こる。これがピリミジンの溶液状態で蛍光が弱く、燐光が強い理由である。気体状態でも高圧では、溶液状態ほどではなかったが、ピリミジンの励起スペクトルは吸収スペクトルと似ていた。ところが、圧を低くしていくと驚くことに吸収スペクトルとはまったく形が違って  $S_1$  の振動ゼロ準位のピークが突出して高い励起スペクトルが得られた。気体のサンプルを蛍光測定用の石英セルに封入するのはガラス製の真空ラインで行う。ロータリーポンプと拡散ポンプで高真空にした真空ラインに室温で液体状態のピリミジンを入れて、凍結融解を繰り返しながら精製する。不純物が入っていると励起エネルギーが不純物に移動して本来の蛍光が消光されてしまう。医学や生理学では対象に個体差があるので得られたデータを統計処理しないと結論が出せないが、化学の世界では純物質が得られさえすれば 1 回の測定でもものが言える。統計学の重要性を知ったのは生理学の分野に入ってからである。真空ラインで試料の部分を低温にしながら圧を調節するのであるが、温度が低すぎるとたくさんの試料がセル内に凝縮されて圧が高くなり、温度が高すぎると試料が凝縮されずに真空ポンプに吸い込まれてしまう。何℃がよいかいろいろな寒剤で試したが、ある日ベランダに積もっていた雪をエタノールに混ぜたところちょうどよい圧の試料が作れた。セレンディピティー serendipity と言うには細やかなことであるが、自分にとっては大きな発見であった。そのとき得られた吸収スペクトルとは全く異なる励起スペクトルを翌朝、馬場先生にお見せしたところ、これは面白いとおっしゃってくださった。このときの馬場先生のように重要な本質をすぐに見抜く力が指導者には必要なのだと後に指導する立場になったときに思った。この結果をピリミジンの長寿命蛍光として論文にまとめた<sup>11)</sup>。 $S_1$  の振動ゼロ準位の励起ではこの長寿命蛍光の量子収率が高いが、低圧でも励起エネルギーを大きくすると著明に量子収率が低下した。さらに、ピリミジンのメ

チル基置換体で同様の実験を行い、メチル基導入で振動状態密度が高くなると  $S_1$  の振動ゼロ準位の励起でも長寿命蛍光の量子収率が低くなることも明らかにした<sup>12)</sup>。この論文を投稿したとき、査読者のひとりから励起した振動準位を前報から変えたのはなぜかという指摘があった。そのとき、この査読者はアメリカで同様の研究をしている研究者だと直感した。そのアメリカの研究者は励起光源としてパルスレーザーを使っていて短時間で積算回数を上げていたのに対し、私たちはキセノン (Xe) ランプの定常光を回折格子で分光して光源としていたので高感度分光装置があったとは言え、強力なライバルであった。このときは自分たちが世界の最先端で競争しているという実感があつた。ピリミジンの異性体のピラジンでフランスの研究者が長寿命蛍光を報告していたが、ピリミジンの長寿命蛍光は私たちが世界初であった。ジアザベンゼンのもうひとつの異性体のピリダジンでも同様の実験を行ったがピリダジンの長寿命蛍光は弱かった。これはピリダジンの  $S_1$  と  $T_1$  の間隔がピリミジンやピラジンに比べ大きいので  $T_1$  の振動状態密度が高く、 $S_1$  と  $T_1$  の間で動的平衡が起りにくいからである。

ピリミジンのナノ ( $10^{-9}$ ) 秒の短寿命蛍光の寿命を時間一電圧変換方式の蛍光寿命計を製作して測定した<sup>13)</sup>。市販品などなかったナノ秒の蛍光寿命計が製作出来たのも応電研の電子計測開発施設、ガラス工作室、機械工作室の優秀さを物語っている。ピリミジンの長寿命蛍光のマイクロ ( $10^{-6}$ ) 秒の寿命は、新しく研究室に入った色素レーザーを励起光源として実測し、博士論文<sup>14)</sup>に書いた。博士論文には重水素置換体 ( $C_4N_2D_4$ ) での結果も加えた。重水素置換はメチル基導入に比べると振動状態密度の増加がわずかであったが、それでも長寿命蛍光が減少した。ピリミジンおよびその誘導体の長寿命蛍光の実験結果に加え、制作した蛍光寿命計の特性や  $S_1$  と  $T_1$  の間の動的平衡に関する動力学および量子力学理論も含めて博士論文をまとめた。日本学術振興会の奨励研究員であった 1 年間を含め、博士課程修了まで 5 年かかったが、装置を作るだけでも 1 年近くかかり、決してのんびり過ごしていたわけではなかった。むしろ充実した毎日の連続であった。

博士論文完成後に色素レーザーを用いてピラジ

ンおよびピリミジンの長寿命蛍光の蛍光励起スペクトルを  $S_1$  の振動ゼロ準位近傍で詳細に測定したところ振動状態のサブレベルの回転状態に強く依存することを見出した<sup>15)</sup>。結晶の偏光ラマンスペクトルの研究で行った因子群解析が回転状態の分類に役立った。この論文で明らかにした長寿命蛍光の回転状態依存性はこの分野のトピックスのひとつとなり、研究はその後も進展した<sup>16)</sup>。ピリミジンの  $S_1$  と  $T_1$  のエネルギー差が小さいことが長寿命蛍光をもたらしているのであるが、 $S_1$  と  $T_1$  が近いということは蛍光と燐光が重なるということでもある。ピリミジン気体の蛍光の測定も難しかったが、その蛍光に隠れた燐光の測定はさらに困難であった。それを蛍光と燐光の寿命の違いを利用して時間分解方式で初めて測定した<sup>17)</sup>。

#### 4. 山形大学医学部における研究と教育

1980年に文部教官助手として就職した山形大学医学部生理学第一講座（以下、第一生理）の望月政司先生の研究室は、呼吸、循環が専門で、特にガス交換で著名な研究室であった。当時、研究室では技官や院生の皆さんがイヌを使って望月先生が開発された再呼吸法<sup>18)</sup>で求めた心拍出量と直接 Fick 法で求めた心拍出量を比較する実験を行っていた。私にとって初めて見る動物実験であった。

私自身の研究は、pH依存性の蛍光試薬4-methylumbelliferone (4-MU) を用いてヘモグロビン (Hb) 溶液における  $\text{CO}_2$  拡散に伴う pH 変化を測定して、 $\text{CO}_2$  および重炭酸イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ) の拡散係数を求めることであった。4-MU の蛍光は北大応電研で測定していたような微弱光ではなく、肉眼でも見える強い青色の蛍光なので測定自体は楽であったが、Hb 溶液での蛍光測定に適した装置を作る必要があった。大学の近くの機械工作所を廻って金属製の装置外箱やアースを取るための鉄板を注文し、現在山形大学工学部教授の新関久一先生と一緒に装置を製作した。青色の蛍光で可視光なのでアクリル樹脂で集光レンズを作ることとした。第一生理には医学部には珍しく旋盤があったのでアクリルなどの工作が出来た。この研究をまとめて日本生理学会の英文誌に投稿した論文<sup>19)</sup>が生理学での私の最初の論文である。最初から解剖が必要な研究だとしたら私には難しかったが、対

象が血液 (Hb 溶液) であり、望月先生のご専門が数式を多用する研究であったので入りやすかった。

その後、私も再呼吸の研究を始めた。空気に 0.3% の一酸化炭素 ( $\text{CO}$ ) を加えたガスを再呼吸して心拍出量と  $\text{CO}$  肺拡散能 ( $D_L\text{CO}$ ) を同時測定して、望月先生の理論にしたがって、肺毛細血管で肺胞気が赤血球と接触する時間を推定した<sup>20)</sup>。この論文を主論文にして 1987 年に論文博士で医学博士を取得した。再呼吸法で非侵襲的に心拍出量を測定したこの研究の被験者は健常若年者であったが、山形大学医学部の内科学第一講座（以下、第一内科）の先生方と共に肺疾患患者にもこの方法が適用できることを示した<sup>21)</sup>。 $D_L\text{CO}$  の測定は 1 回呼吸法 single breath method で行われることが一般的であったが、1 回呼吸法では死腔内のガスを排出させるために長く呼出した後、10 秒間息こらえをする必要がある。実際やってみるとこの息こらえは健常者でも苦しいくらいで、それに比べると再呼吸法による  $D_L\text{CO}$  の測定は自分が出来る量と時間で吸気、呼気を繰り返せばよいのである。

医学部では助手として専ら研究が仕事であったが、血液の生理学など講義も一部担当した。また、生理学実習は教室員全員の仕事であった。博士号 (PhD) を持っていたので大学院指導助手として博士課程の大学院生指導も担当した。

望月先生ご退官後の第一生理の二代目の教授に助教授をされていた土居勝彦先生がご就任された。土居先生は体温調節がご専門で、最初に私が受け持った研究は急性寒冷暴露に対する呼吸、循環および代謝応答を冬眠動物のハムスターと非冬眠動物のラットで比較することであった。この研究の実験結果から、ハムスターは寒冷暴露に長時間耐えるが、その間に体内のグリコーゲンや中性脂肪を使い切り、それが致命的になる、そうならないために冬眠すると結論した<sup>22)</sup>。対照的にラットは寒冷暴露時にエネルギー基質を使えなくて死に至ることがわかった。ハムスターが結腸温  $38^\circ\text{C}$  では低換気で、動脈血  $\text{O}_2$  分圧 ( $\text{PaO}_2$ ) が 88.5 Torr と低く、 $\text{CO}_2$  分圧 ( $\text{PaCO}_2$ ) が 57.5 Torr と高いこともこの研究での発見であった。しかも、ハムスターは結腸温  $18^\circ\text{C}$  で  $\text{PaO}_2$  が 94.0 Torr、 $\text{PaCO}_2$  が 34.1 Torr と基準範囲に戻ったことが驚きで

あった。ラットは逆に結腸温 38°C では正常換気で、18°C で低換気に陥った。ハムスターは常温では換気を抑制していて、低温になったとき換気や代謝を亢進させ、耐えるのだと考えられる。優秀なスポーツ選手が安静時には低心拍数で、いよいよ運動強度が激しくなったときに心拍数を上げることと似ているような気がする。

土居先生の研究分野は、その後心臓に移り、私も隣の薬理学講座の片野由美先生にラットの心臓のランゲンドルフ灌流法 Langendorff's perfusion method を教えていただき、単一分離したラットの心室筋細胞を用いて実験を行った。最初はなかなか単離細胞が得られなかったが、顕微鏡下にピクピク動く rod-like の心室筋細胞を見たときは感動した。そうして単離したラット心筋細胞からミトコンドリアを得るために細菌学講座の高速遠心分離機をお借りした。ピレン酪酸 pyrenbutyric acid (PBA) は脂溶性で、蛍光が O<sub>2</sub> で消光されるのでこれを細胞膜およびミトコンドリア膜に染み込ませて、O<sub>2</sub> 拡散に伴う PBA の蛍光消光を Stern-Volmer 解析して O<sub>2</sub> の拡散係数を求めた<sup>23)</sup>。Stern-Volmer 解析は、北大で長寿命蛍光の寿命を推定するときにも用いた。この研究で用いたミトコンドリア膜の O<sub>2</sub> 拡散係数の測定法についての詳しい解説も書いた<sup>24)</sup>。また、第一内科所属の大学院生と次亜塩素酸作用時の心筋細胞内の Ca<sup>2+</sup> 濃度変化を Ca<sup>2+</sup> 依存性の蛍光試薬を用いて測定した<sup>25)</sup>。虚血後の再灌流に伴う障がいを防ぐにはどのような心筋保護液で灌流すればよいか検討する研究も行った<sup>26)</sup>。

心筋細胞の形態を維持するための ATP は解糖系で作られる ATP であるという仮説を持って、解糖系および酸化的リン酸化をそれぞれの阻害薬で選択的に阻害したときの単离心筋細胞の形態を調べ、解糖系を阻害すると細胞形態が悪化することを示した<sup>27)</sup>。解糖系の ATP が細胞形態維持、すなわち細胞膜維持に必要な理由のひとつとして、解糖系は細胞質で行われるので作られた ATP が細胞膜で効率よく使われることが考えられる。がん細胞のワールブルグ効果 Warburg effect と似て、活性酸素による細胞膜障がいを防ぐために酸化的リン酸化よりも解糖系を優先させるということも考えられる。

リン原子磁気共鳴スペクトルスコピー (<sup>31</sup>P-

MRS) は、生きたままの生体組織で ATP、クレアチンリン酸 (PCr)、無機リン酸 (P<sub>i</sub>) などリン原子を含む化合物を同時に連続測定する唯一の方法である。MRS はマイクロ波の共鳴吸収による核スピン状態間の遷移によって起こる現象なので修士、博士課程で行って来た遠赤外、赤外、可視、紫外光の共鳴吸収の研究と関連している。山形大学医学部附属病院には臨床用の磁気共鳴イメージング (MRI) 装置の隣の部屋に研究用の横型の *in vivo* MRS 装置があったので、放射線医学講座の駒谷昭夫先生と心筋細胞の<sup>31</sup>P-MRS を測定した<sup>28)</sup>。泌尿器科学講座の笹川五十次先生とラットの滞留精巢の *in vivo* <sup>31</sup>P-MRS を測定する研究も行った<sup>29)</sup>。整形外科科学講座にバングラディシュから大学院生として留学していた Ibrul Hassan Chowdhury 氏が第一生理で研究を行うことになり私が指導教員になった。麻醉・蘇生学講座の天笠澄夫先生にラットの人工呼吸法を教えていただき、*in vivo* MRS 装置のプローブをラットの骨格筋に当てて吸入ガスの O<sub>2</sub> 濃度を変えながら<sup>31</sup>P-MRS を測定した<sup>30)</sup>。この実験で私もラットに気管挿管したり、皮膚を切開して骨格筋を表面に出すことが出来るようになった。MRS のプローブと骨格筋の間に薄いテフロン板や食品用のポリ塩化ビニリデンフィルムを挟むとききれいなスペクトルが得られることも小さな発見であった<sup>30)</sup>。*in vivo* MRS 装置で低酸素ガス吸入による PCr の低下、P<sub>i</sub> の増加がきれいに測定出来たが、問題点があった。プローブの下には複数の筋があって、どの筋の<sup>31</sup>P-MRS か特定できないことだ。そこで、医学部の共同利用施設の実験実習機器センターに導入された縦型の<sup>31</sup>P-MRS 装置を用いて、摘出したラットの大腿二頭筋を灌流しながら ATP や PCr を測定した。この灌流も天笠先生に教えていただいた。Chowdhury 氏が整形外科医として細かい手術に慣れていたので大腿二頭筋を摘出して大腿動脈から 24 G のカニューレで灌流した。大腿二頭筋を選んだのは、ラットのこの筋は速筋の割合が約 95% と高く PCr が豊富だからである。ローマン反応 Lohmann's reaction で ATP を産生するときに H<sup>+</sup> が消費されるので、虚血時の細胞内 pH (pH<sub>i</sub>) 低下を PCr が緩衝しているのではないかという仮説を持って研究を進めた。30 分間の灌流ポンプ停止 (虚血に相当) で PCr は著明に低下、P<sub>i</sub> が鏡像対称的に増加したが、ローマン反応

のおかげで pH<sub>i</sub> の低下が遅れることが明らかになった<sup>31)</sup>。このとき虚血時にも細胞内の ATP は低下せずに、ほぼ一定値を保つこともわかった。pH<sub>i</sub> は PCr と P<sub>i</sub> のケミカルシフトの差から求められるので、この研究は PCr、P<sub>i</sub>、ATP が同時に連続して測定できる<sup>31</sup>P-MRS 装置でしか出来ないものであった。灌流を再開するとスペクトルは、灌流停止前とほぼ同等に戻り、骨格筋が虚血に強いことも実感した。

## 5. 山形県立保健医療大学における研究と教育

1997 年に山形市の北方に三年課程の山形県立保健医療短期大学が新設され、そこの理学療法学科に生理学担当教授として赴任した。動物や細胞を使う実験は難しかったので、もっぱらヒトが被験者となる運動生理学の研究を行った。質量分析計による呼気ガス分析装置があり、運動時の呼吸、循環、代謝機能を研究した。山形大学医学部で行った骨格筋代謝<sup>32)</sup>や再呼吸<sup>33,34)</sup>の研究も出来た。教育では、オムニバス方式の「基礎生命科学」の中の生理学を担当した。この科目は 2000 年に四年制大学になってから「生体機能学」に変わり、引き続き担当した。その他に生理学実習や「栄養代謝学」として生化学の講義も行った。ひとつのことを教えるためにはその十倍くらいの準備をしてはじめて自信を持って講義出来るといつも感じている。講義は真剣勝負で、終わって研究室に戻ると力が抜けるような感じであった。しかし、講義は嫌いではなく、いつも楽しかった。そういう準備の積み重ねとして『生体機能学テキスト』<sup>35)</sup>と『図解ワンポイント生理学』<sup>36)</sup>の 2 冊の教科書を共著で出すことが出来た。これらの教科書の原稿は毎日の仕事が終わってから書いていたのでなかなか進まず、夜遅くなって帰るとき今日も完成しなかったと重石が頭に乘ったような感じであった。

山形県立保健医療大学の理学療法学科の卒研は、時間的制約の中でしっかり行われていると思う。短大時代の卒研も同様である。これは学生の優秀さ、教員の熱意そして装置の充実によるものである。表 1 に私が卒研指導を担当した短大一期生から四大十一期生までの学生名（敬称略、旧姓）とテーマをまとめた。主に運動生理学や生理

学に関係するテーマであるが、理学療法に直接関係するテーマもあった。短大が創設 3 年目で四大になったので、2003 年には四年生がいなかった。修士論文は 2 名の院生を指導した。本橋昭人氏は、理学療法士で山形県立山形盲学校の教諭である。ご自身も小さな文字を読むことが不自由で、大学院の入試では文字を拡大する装置で問題文を読んだ。大学院生室のパソコンには音声読み取りのソフトを入れた。そうした不自由をご自身の努力とご家族や他の院生の協力で克服した。本橋氏は、あん摩・マッサージ・指圧師の資格もお持ちで、マッサージに関するテーマになった。競技直前の高強度ウォーミングアップやマッサージが運動耐容能や回復能を向上させることが明らかになった。本橋氏がパラリンピックに 3 回（1992、1996、2000 年）出場してフルマラソンやタンデム自転車スプリントで優秀な成績を収めていたことを大学院修了後に知った。伊東一章氏は、大学二期生で卒研も私が担当した。再呼吸時の呼吸交換比は再呼吸バッグ内の CO<sub>2</sub> 分圧の増加と共に直線的に低下し、直線の勾配が安静時に比べ、運動時では緩やかになることが山形大学時代の研究<sup>20)</sup>でわかり、その直線の交点が肺胞気 CO<sub>2</sub> 分圧 (P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub>) に相当するのではないかとずっと考えていた。運動強度を 3 段階に変えて交点が 1 点で交叉することおよびその交点が呼気終末 CO<sub>2</sub> 分圧で近似した P<sub>A</sub>CO<sub>2</sub> と有意差がないことが明らかになった。伊東氏も理学療法士として働きながらの院生で、しかも県外の病院勤務だったので休日に大学に出て来て実験するなどの苦勞をして修士課程を修了した。

山形県立保健医療大学はコロラド大学およびコロラド州立大学と姉妹校締結を結んでいて、各学科の三年生有志が夏休みの約 1 週間研修に行っている。各学科の教員数名が同行し、現地の教員と研究発表交流も行っている。私は 2005 年の理学療法学科四期生、2012 年の同十一期生の研修に同行した。理学療法学科のコロラド研修では、滞在中の日曜日にバスでロッキー山脈国立公園に行っていた。バスで富士山の頂上に近い 3,595 m まで登ってしまう。高山病になってもおかしくない高度であるが、数日間滞在するデンバー市も Mile High City と呼ばれるように標高が約 1,600 m あり、バスも昼食休憩を取りながらゆっくり登るので具合が

悪くなった学生はいなかった。生理学を専攻している者として高地での動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>)に関心があった。2012年のときは携帯型パルスオキシメータがあったので、それを持って行き、学生の同意の許に指で測定させてもらった。13名の学生の3,595 mでのSpO<sub>2</sub>の平均値が85%であった<sup>37)</sup>。平地ならば呼吸不全と診断される値であるが、学生達は平気であった。SpO<sub>2</sub>およびそれと同時に測定した心拍数とから混合静脈血の酸素含量(CvO<sub>2</sub>)を推定できることに気付き、帰国後論文にまとめた<sup>37)</sup>。この論文で動脈血の酸素含量(CaO<sub>2</sub>)とCvO<sub>2</sub>の差(vol%)が高度 $h$ (m)に対して上に凸の二次曲線 $CaO_2 - CvO_2 = -0.265 \times 10^{-6}h^2 + 0.289 \times 10^{-3}h + 7.74$ で近似出来ることを示した。この二次式の左辺=0のときの $h$ を二次方程式の根として求めれば、その $h$ がCaO<sub>2</sub>=CvO<sub>2</sub>、すなわち混合静脈血が肺で動脈血化されない、言い換えれば酸素が末梢に供給されない高度ということになる。小さなことであるがこれも自分にとってはひとつの発見であった。CaO<sub>2</sub>-CvO<sub>2</sub>を再呼吸法で求めることを山形大学時代からやっていたので、再呼吸法と今回のパルスオキシメータ法によるCvO<sub>2</sub>の推定について日本体力医学会の英文誌に総説を書いた<sup>38)</sup>。その総説の中でCaO<sub>2</sub>=CvO<sub>2</sub>となる高度をこの二次式から求め、酸素ポンベが必要となる高度が5,980 mと推定出来ることも書いた。2006年に55歳のときエベレストに登頂された山形県在住の遠藤博隆氏のご講演をお聴きする機会があったので、酸素ポンベが必要になる高度についてお尋ねしたところ6,000 mくらいというお返事で推定値はその高度と近かった。

## 6. 大学教員の仕事

大学、大学院およびその後の大学教員時代に多くの方にご指導、ご支援いただいたおかげで化学から生理学に渡るいろいろなテーマで研究を行うことが出来た。恩返しとして自分が出来たことは何だったろうかと思うとき、発表出来た論文もそうであるが、先生方から教わったことを多少なりとも後進に伝えられたことではないかという気がする。研究者の役目は、ひとりで何かを完成させるだけではなく、それまでの成果を理解し、それ

に自分なりの新しさを加えて、後進に伝えることでもあると思う。その意味では、教育も重要である。大学教員は教育に情熱と誇りを持つべきだと思う。

大学教員の仕事は、研究、教育、大学運営および地域貢献とよく言われる。アメリカの教育学者Boyerは、大学教員の4つの学識として、発見の学識(Scholarship of Discovery)、教育の学識(Scholarship of Teaching)、応用の学識(Scholarship of Application)および統合の学識(Scholarship of Integration)と言っている<sup>39)</sup>。発見の学識および教育の学識が、それぞれ研究および教育に相当することは明らかである。応用の学識は、大学運営と地域貢献ではないだろうか。では、統合の学識は何だろうか？2009年2月に東北大学で開かれた「学士課程教育シンポジウム」で絹川正吉先生のご講演を拝聴したとき「専門は基礎のためにある。」というお言葉が特に印象的であった。私などは「基礎は専門のためにある。」と考えていた。その年の12月に山形県立保健医療大学で開かれたFD研修会での元日本作業療法士協会会長の矢谷令子先生のご講演で絹川先生のご著書<sup>40)</sup>を知り、統合の学識こそが「専門は基礎のためにある。」ということではないかと感じた。つまり、専門を極めることで異なる分野や現象に共通する根本的な原理が見えてくる、これが統合の学識ではないだろうか。学生は多くの科目や事項を学び、覚えることに精一杯である。一見異なる現象の根底にある原理をわかりやすく説明することで、学生は眼からうろこが落ちたように納得することがある。研究を通して極めた専門性から普遍的原理に気付くことが出来るのだと思う。物理学、化学、生物学、地学などの基本的事項を個別に説明するのではなく、根底にある普遍性や一見関係ないと思われる事項に共通する類似(アナロジー)を理解してサイエンス・ミニマムとして講義することは「統合の学識」の発信のひとつであると思ひ、「統合の学識によるサイエンス・ミニマム教育」<sup>41)</sup>を書いた。絹川先生には、2010年10月19日の山形県立保健医療大学のFD研修会で「大学教育のエクセレンスとガバナンス」の題でご講演いただいた。現在、大学教育学会会長でいらっしゃる小笠原正明先生には、2011年8月30日のFD研修会で「保健医療系大学における教養教育」の題でご講演いただいた。私

は、1979年に博士課程修了後半年間、北大工学部の工業物理化学講座の分析化学実験の非常勤講師をさせていただいたが、当時その講座の助教授が小笠原先生でいらっしやう。山形県立保健医療大学は地域貢献として公開講座を毎年行っており、私は2004年に「健康長寿のための運動と食事 — 日常生活のチョットした心がけ —」および2013年に「知って活かそう！ からだの中の代謝のしくみ」の題で話をさせていただいた。

## 7. 学生諸君に伝えたいこと

学生時代は理屈抜きで覚えなければならないことも多い。そういうときも個々の事項を関連付けて覚えることが大切で、記憶も容易になる。そして、出来れば個々の事項の間に何か共通すること、関連することがないか考えてほしい。そのような思いを書いた「統合の学識によるサイエンス・ミニマム教育」<sup>41)</sup>を読んでほしいと思う。式を見たときにどんな式も左辺と右辺で単位（次元）が同じでなければならないことに常に気を配ってほしいことを院生の講義でよく言っている。単位に注意すると式の意味やその式が正しいかどうか分かる。専門用語もたくさん覚えなければならないが、医学用語の場合、語源としてラテン語およびギリシャ語を知っていると理解しやすい。

大学教員はもちろん学生も論文、報告書、申請書など書くことが仕事の主要部分を占めている。学生に、日本人だからよい日本語が書けるわけではなく、英米人だからよい英語が書けるわけではないとよく言っている。書くためには訓練が必要で、よい文章をたくさん読むことである。よい表現があればメモして、自分が書くときに使ってみるとよい。書くための訓練は学生、院生時代が最適で、私も書いた英文が真っ赤になるくらい高橋先生や馬場先生から直されることの繰り返しで鍛えられた。書くための定石のような事項もあるので自分でも積極的に書き方に関する本を読んだ。中でも『ライフ・サイエンスにおける英語論文の書き方』<sup>42)</sup>と『Journalの論文をよくするために』<sup>43)</sup>は特によかった。前者は、母国語としての英語の視点でわかりやすい表現を教えてくれる。後者は、日本物理学会の重鎮が同学会の英文誌 *Journal*

*of the Physical Society of Japan* の投稿者に英文の書き方を細かく注意してくれている。その重鎮のひとり木下是雄氏が日本語の書き方について書かれた『理科系の作文技術』<sup>44)</sup>も愛読書である。馬場先生がお書きになるものは英文も和文もすばらしく明快で美しかった。馬場先生は北大をご退官後に『文章表現法の要点』<sup>45)</sup>を書いていらっしやる。馬場先生は教室員に論文を書くときの心がけを箇条書きで示してくださり、その中に「書いた後、しばらく置いてから読み直す。」ということがあった。時間を置いて見直してみるとより適切な表現に気付くことがある。

山形県立保健医療大学の教育振興会誌「ほほえみ」の誌名は、学内で募集があり、私が応募して採用されたものである。そのような愛着があり、「*Be Gentleman!*」(1998年11月、「ほほえみ」第4号)、「山形弁の思いやり」(2001年3月、「ほほえみ」第11号)、「便利さの代償」(2004年12月、「ほほえみ」第23号)の寄稿をさせていただいた。機会があればこれらも読んでほしいと思う。

## おわりに

この最終講義でお名前を挙げさせていただきました皆様だけでなく、多くの皆様に大変お世話になりました。そして、さらにお世話になりましたことに私が気付いていないということもあると思います。また、気付かずにご迷惑をおかけしてしまったということもあるかもしれません。そのような方々に心の中で感謝とお詫びを申し上げることが出来ましたのもこの最終講義でした。

本論文について他者との利益相反はない。

## 文献

- 1) 三宅泰雄. 空気の発見 (角川文庫). 東京: 角川書店; 1962.
- 2) オパーリン AI, 江上不二夫 編. 生命の起源と生化学 (岩波新書). 東京: 岩波書店; 1956.
- 3) 馬場宏明, 坪井正道, 田隅三生 編著. 回想の水島研究室 — 科学昭和史の一断面 —. 東京: 共立出版; 1990.
- 4) 東 健一, 木村雅男. 近代物理化学. 東京: 共

- 立出版;1969.
- 5) Uchida K, Takahashi H, Higasi K. Polarized Raman spectra of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  single crystals. *Bulletin Chem Soc Jpn.* 1974; 47: 1545-6.
  - 6) 東 健一, 長倉三郎 編. 緩和現象の化学. 東京:岩波書店;1973.
  - 7) Uchida K. Far-infrared Reflection Spectra and Polarized Raman Spectra of Ammonium Sulfate. Waseda University (Mater Thesis); 1974.
  - 8) 堀 淳一. 物理数学 I, II (共立物理学講座). 東京:共立出版;1969.
  - 9) 馬場宏明, 進藤善雄. 微弱光の測定法. 日本化学会 編. 新実験化学講座. 東京:丸善;1990.
  - 10) Yamazaki I, Uchida K, Baba H. Fluorescence spectrum of pyrimidine vapor from the zero-point vibrational level of  $^1\text{B}_1(\text{n}, \pi^*)$  state. *Chem Lett.* 1974; 3: 1505-10.
  - 11) Uchida K, Yamazaki I, Baba H. Fast and slow fluorescence emissions from pyrimidine vapor. *Chem Phys Lett.* 1976; 38: 133-7.
  - 12) Uchida K, Yamazaki I, Baba H. Effects of methyl substitution on electronic relaxation processes of pyrimidine vapor. *Chem Phys.* 1978; 35: 91-101.
  - 13) 山崎 巖, 藤田昌久, 内田勝雄, 進藤善雄, 馬場宏明. 時間一電圧変換方式による蛍光寿命計の試作. 応用電気研究所報告. 1974; 26: 124-44.
  - 14) Uchida K. Spectroscopic Studies on Electronic Relaxation Processes in Pyrimidine and Its Derivatives in the Vapor Phase. Hokkaido University (PhD Dissertation);1979.
  - 15) Baba H, Fujita M, Uchida K. Rotational effects on fluorescence quantum yields of pyrazine and pyrimidine in the vapor phase. *Chem Phys Lett.* 1980; 73: 425-8.
  - 16) Baba H, Ohta N, Sekiguchi O, Fujita M, Uchida K. Effects of molecular rotation on electronic relaxation processes in pyrazine and pyrimidine with particular regard to pressure dependence. *J Phys Chem.* 1983; 87: 943-952.
  - 17) Takemura T, Uchida K, Fujita M, Shindo Y, Suzuki N, Baba H. Phosphorescence from pyrimidine vapor. *Chem Phys Lett.* 1980; 73: 12-5.
  - 18) Mochizuki M, Tamura M, Shimasaki T, Niizeki K, Shimouchi A. A new indirect method for measuring arteriovenous  $\text{O}_2$  content difference and cardiac output from  $\text{O}_2$  and  $\text{CO}_2$  concentrations by rebreathing air. *Jpn J Physiol*, 1984; 34: 295-306.
  - 19) Uchida K, Mochizuki M, Niizeki K. Diffusion coefficients of  $\text{CO}_2$  molecule and bicarbonate ion in hemoglobin solution measured by fluorescence technique. *Jpn J Physiol*, 1983; 33: 619-34.
  - 20) Uchida K, Shibuya I, Mochizuki M. Simultaneous measurement of cardiac output and pulmonary diffusing capacity for CO by a rebreathing method. *Jpn J Physiol*, 1986; 36: 657-70.
  - 21) Takahashi H, Iwabuchi K, Kudo Y, Tomoike H, Niizeki K, Uchida K, Takahashi K. Simultaneous measurement of pulmonary diffusing capacity for CO and cardiac output by a rebreathing method in patients with pulmonary diseases. *Int Med*, 1995; 34: 330-8.
  - 22) Uchida K, Shibuya I, Doi K. Difference in the mode of acute cold-induced hypothermia between rat and hamster. *Jpn J Physiol*, 1987; 37: 207-22.
  - 23) Uchida K, Matsuyama K, Tanaka K, Doi K. Diffusion coefficient for  $\text{O}_2$  in plasma and mitochondrial membranes of rat cardiomyocytes. *Respir Physiol.* 1992; 90: 351-62.
  - 24) 土居勝彦, 内田勝雄. ミトコンドリア膜の酸素拡散係数の測定法. 生体の科学. 1994; 45: 721-7.
  - 25) Kuroda M, Kaminishi T, Uchida K, Miyazawa K, Tomoike H, Doi K.  $\text{Ca}^{2+}$  increase and pH decrease induced by hypochlorous acid in single quiescent myocytes isolated from rat ventricles. *Jpn J Physiol*, 1995; 45: 619-30.
  - 26) Uchida K, Tanaka K, Doi K. Effects of cardioplegic reperfusion on ATP recovery of rod-shaped myocytes isolated from rat ventricles. *Jpn J Physiol*, 1993; 43: 259-65.
  - 27) Uchida K, Doi K. Glycolysis vs. respiration as ATP source for the shape of quiescent cardiomyocytes. *Respir Physiol.* 1994 97: 213-23.
  - 28) 内田勝雄, 駒谷昭夫, 山口昂一, 土居勝彦.  $^{31}\text{P}$ -MRS による単離心筋細胞のエネルギー代謝の解析. 山形医学. 1995; 13 (2): 59-66.
  - 29) Sasagawa I, Nakada T, Kubota Y, Ishigooka M,

- Uchida K, Doi K. *In vivo*  $^{31}\text{P}$  magnetic resonance spectroscopy for evaluation of testicular function in cryptorchid rats. *J Urol*. 1995; 154: 1557-9.
- 30) 内田勝雄. 生体組織の緩衝価の測定法. 今泉和彦, 石原昭彦 編著. 最新運動生理科学実験法 —分子・細胞・組織レベルからのアプローチ—. 東京：大修館書店；1998.
- 31) Chowdhury IH, Uchida K, Amagasa S, Sakai M, Ogino T, Horikawa H, Doi K.  $^{31}\text{P}$  magnetic resonance spectroscopy of perfused rat skeletal muscle. *Yamagata J Health Sci*. 2002; 5: 115-22.
- 32) Uchida K. Kinetics of energy metabolism in skeletal muscle during ischemia. *Yamagata J Health Sci*. 1998; 1: 53-5.
- 33) Uchida K. Estimation of mixed venous  $\text{CO}_2$  tension and QRS electrical axis from simple mathematical considerations. *Yamagata J Health Sci*. 2001; 4: 39-41.
- 34) Uchida K. Some mathematical issues in the relationship between respiratory exchange ratio and carbon dioxide pressure during rebreathing. *Yamagata J Health Sci*. 2009; 12: 21-4.
- 35) 吉岡利忠, 内田勝雄 編著. 生体機能学テキスト. 東京：中央法規出版；2001.
- 36) 片野由美, 内田勝雄. 図解ワンポイント生理学. 東京：医学芸術社；2004.
- 37) Uchida K. Mixed venous oxygen content estimated from oxygen saturation and heart rate measured for healthy students during a study tour in Colorado. *Yamagata J Health Sci*. 2013; 16: 21-7.
- 38) Uchida K. Noninvasive estimation of mixed venous oxygen content. *J Phys Fitness Sports Med*. 2014; 3: 27-33.
- 39) Boyer EL. Scholarship Reconsidered: Priorities of the Professoriate. The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching, 1990. 有本章 訳. 大学教授職の使命 スカラーシップ再考. 東京：玉川大学出版部；1996.
- 40) 絹川正吉. 大学教育のエクセレンスとガバナンス ～絹川学長の教学経営ハンドブック～. 東京：地域科学研究会；2006.
- 41) 内田勝雄. 統合の学識によるサイエンス・ミニマム教育. 山形保健医療研究. 2010; 13: 1-6.
- 42) 市原 A エリザベス. ライフ・サイエンスにおける英語論文の書き方. 東京：共立出版；1982.
- 43) 日本物理学会 編. Journal の論文をよくするために —物理学論文著者への道—. 東京：日本物理学会；1963.
- 44) 木下是雄. 理科系の作文技術 (中公新書). 東京：中央公論社；1981.
- 45) 馬場宏明, 古尾谷 崇, 出口 潔, 友次克子. 文章表現法の要点. 静岡：静岡理科大学；1997.

表 1 担当した卒業研究および修士論文研究

卒業年	テーマ	学生名
2000	高濃度人工炭酸泉が上腕圧解除後の皮膚血流に及ぼす効果	齋藤梨香
	最大運動後の血中乳酸値と血糖値の相関	齋藤理津
	再呼吸法による高負荷運動時の心拍出量測定 —アセチレン法と CO <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> 法の比較—	寺崎 聡
	体脂肪率と体温の関係について	平田美佐子
2001	高濃度人工炭酸泉を用いたクーリングダウン効果の検討	木賀 洋
	血中乳酸濃度と心拍数および呼気ガスデータとの相関	清川雅文
	上腕皮脂肪厚による体脂肪率の簡易推定式	工藤早苗
2002	安静時酸素摂取量および有効発汗量と体脂肪率との関係	遠藤かおり
2004	SLR 運動による大腿四頭筋の筋力トレーニングにおける加圧効果の検討	石川慎一郎
	SLR 運動による大腿四頭筋の筋力トレーニングにおける温熱刺激効果の検討	白木大吾
2005	糖負荷後の血糖値変化に対する運動の効果	伊東一章
	インピーダンス法で測定した 1 回拍出量の肢位による変化	高澤 彰
2006	座面の高さを変えた反復起立運動による運動負荷法の定量的検討	大森 允
	高気圧環境が運動および回復時の呼吸循環系に与える効果	山下浩樹
2007	円背姿勢が歩行時の呼吸循環機能に及ぼす影響	阿部美紗子
	高強度のウォーミングアップが運動時の酸素摂取動態に及ぼす影響	門脇由美子
	踏み台昇降運動の体力指数を用いた持久性運動能力の評価	丸山裕也
2008	匂い刺激が歩行時の呼吸、循環および自律神経機能に与える効果	菱沼枝里子
	運動前の炭酸飲料摂取が運動中の呼吸、循環および代謝機能に与える影響	藤田真平
2009	呼吸回数を一定にした時の運動—呼吸リズム脱同調現象	芦埜達哉
	免荷および加重が歩行時の呼吸循環機能に及ぼす影響	平山千尋
2010	音楽が安静時の呼吸を安定させるかどうか	富樫絵理子
	回転数を変えた下肢重錘負荷ペダリング時の呼吸循環機能	長谷部裕美
2011	上り、下りのノルディックウォーキングが呼吸循環機能および筋活動に与える影響	黒坂浩平
	ペダリング動作中の色彩入力刺激が呼吸循環機能に与える影響	難波樹央
	姿勢の異なる立ちこぎペダリングが呼吸循環機能および筋活動に与える影響	宮坂 怜
2012	運動時の熱平衡に及ぼす着衣の影響	佐伯新太郎
	自律神経活動に与える匂い刺激と運動の相乗効果	寺田汐里
	環境音が速歩運動時の呼吸循環機能および自律神経活動に与える影響	渡邊 充
2013	ギャッジアップ角度の違いによる呼吸循環および自律神経機能の比較	遠藤千晶
	臥位および座位自転車エルゴメータ運動時の呼吸循環機能および筋活動の比較	木内俊介
	手提げ歩行と肘提げ歩行における呼吸循環機能および筋活動の比較	福代佳人
2014	前方歩行と後方歩行における呼吸循環機能および筋活動の比較	榎本崇紀
	座位における体幹前傾が呼吸循環機能および自律神経活動に与える影響	渡辺早織
修了年	テーマ	院生名
2008	運動耐容能および回復能に対する高強度ウォームアップとマッサージの効果	本橋昭人
2010	再呼吸中の呼吸交換比の解析による肺胞気 CO <sub>2</sub> 分圧の推定	伊東一章

出生地	昭和23年	山梨県
学 歴	昭和42年	山梨県立甲府第一高等学校卒業
	昭和47年	早稲田大学理工学部応用化学科卒業（工学士）
	昭和49年	早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了（工学修士）
	昭和54年	北海道大学大学院理学研究科博士課程修了（理学博士）
	昭和62年	山形大学論文博士（医学博士）
職 歴	昭和55年	山形大学医学部生理学第一講座助手
	昭和63年	山形大学医学部生理学第一講座学内講師
	平成9年	山形県立保健医療短期大学理学療法学科教授
	平成12年	山形県立保健医療大学理学療法学科教授
	平成16年	山形県立保健医療大学大学院教授（兼任）
	平成18年	山形県立保健医療大学理学療法学科教授（兼学生部長）
	平成20年	山形県立保健医療大学理学療法学科教授（兼図書館長）
	平成21年	公立大学法人山形県立保健医療大学理学療法学科教授
	平成24年	公立大学法人山形県立保健医療大学理学療法学科教授（兼研究科長）
	平成26年	公立大学法人山形県立保健医療大学名誉教授