

## 平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究終了報告書

◆記入に当たっては、「平成18年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究終了報告書記入要領」を参照してください。

ローマ字	NISHIKAWA KOICHIRO					
①研究代表者氏名	西川 公一郎			②所属研究機関・部局・職	京都大学・大学院理学研究科・教授	
③研究課題名	和文	K2K 実験におけるニュートリノ振動の精密測定				
	英文	Precise measurement of neutrino oscillation in K2K experiment.				
④研究経費 金額単位：千円	平成13年度	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	総合計
	18,000	46,700	22,200	5,400	5,300	97,600
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者） *平成18年3月31日現在						
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）			
西川 公一郎	京都大学・大学院理学研究科・教授	素粒子物理学	全体総括、ニュートリノ振動の解析			
中家 剛	京都大学・大学院理学研究科・助教授	素粒子物理学	シンチレータ、波長変換ファイバー、光検出器の開発			
横山 将志	京都大学・大学院理学研究科・助手	素粒子物理学	多チャンネル光検出器用読み出し用電子回路の開発・設計・製作			
小林 隆	高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・助教授	素粒子物理学	ニュートリノビームの研究			
⑥当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）						
<p>ニュートリノ研究は、平成13年度文部科学省概算要求内「基礎研究の重点的推進」に記載されている我が国を代表する基礎研究である。我が国のニュートリノ研究は、カミオカンデによる超新星ニュートリノの発見、スーパーカミオカンデによるニュートリノの有限質量の発見が端緒となり世界の素粒子物理学に貢献した。平成11年度よりニュートリノの有限質量をさらに検証すべく、世界初の長基線ニュートリノ振動実験（K2K 実験）が行なわれている。本研究では、K2K 実験でニュートリノ振動の存在をより確実なものとし、ニュートリノ振動に関わる基本パラメータを決定する。具体的には</p> <p>① 5年間のデータ収集を継続し統計精度を向上させる。</p> <p>② 新型ニュートリノ測定器を建設し、前置測定器での測定を改善し系統誤差を減少させる。</p> <p>を実行し、ニュートリノ振動を <math>\Delta m^2 &gt; 2 \times 10^{-3} \text{eV}^2</math> で 99%以上、<math>\Delta m^2 &gt; 3 \times 10^{-3} \text{eV}^2</math> で 99.9%以上の信頼度で確立することを目指す。新たに建設する測定器によって、（1）低エネルギーニュートリノ反応の詳細な研究、（2）ニュートリノビームフラックスの精密測定が進展する。</p> <p>本研究は、スーパーカミオカンデによって開かれたニュートリノ質量、混合の研究を発展させ、世界に先立って加速器によるニュートリノ振動を確立する。これは素粒子の質量と混合という「標準模型」を超えた物理学の探求の第一歩である。</p>						

⑦研究成果の概要 (研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、簡潔に記入してください。)

本研究の最大の成果は、世界に先駆け加速器（人工）ニュートリノで99.998% ( $4.3\sigma$ ) の信頼度でニュートリノ振動を確立したことである（平成18年3月日本物理学会特別講演で西川が発表。暫定結果はPhysical Review Letters **94**, 081802 (2005)）。本研究では当初の研究目的で目指した「99.9%の信頼度」を大幅に上回る結果を達成した。また、同時にニュートリノ振動のパラメータを  $(\sin^2 2\theta, \Delta m^2) = (1.0, 2.8 \times 10^{-3} \text{eV}^2)$  と高精度で決定した。

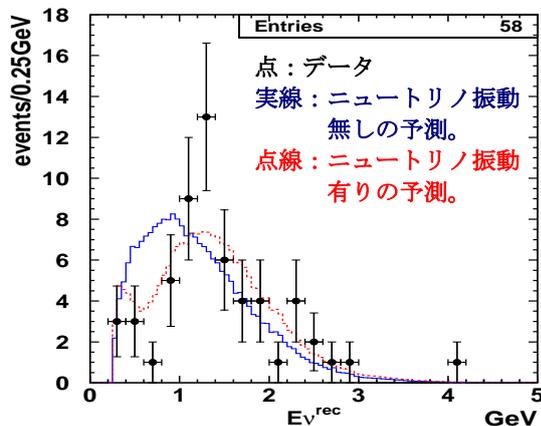


図1：スーパーカミオカンデで測定された K2K 実験ニュートリノのエネルギースペクトル。

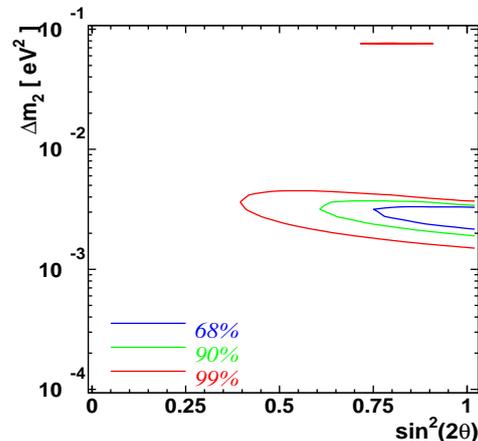


図2：K2K 実験からニュートリノ振動が許容される領域。

K2K実験では5年間で収集した全データを解析し、スーパーカミオカンデ（SK）で112加速器ニュートリノ事象を観測した。前置検出器を使ったニュートリノビームフラックスの高精度測定から、振動無しの場合SKで158.4事象が予測される。観測と予測を比べると加速器ニュートリノ（主にミューオンニュートリノ）が優位に減少していることが分かる。これはニュートリノ振動でミューオンニュートリノがタウニュートリノに変換したことを示している。観測ニュートリノ事象数の減少よりニュートリノ振動の存在は99.94% ( $3.4\sigma$ ) の信頼度で確かめられた。また、ニュートリノ振動では、測定されるニュートリノエネルギーにも変化が予想される。図1にスーパーカミオカンデで観測された加速器ニュートリノによる1ミューオン事象のエネルギースペクトルを示す。新型前置測定器で高精度でニュートリノ振動有り無しの場合についてエネルギースペクトルを予測し、観測データと比較した。その結果、エネルギースペクトルから99.6% ( $2.9\sigma$ ) の信頼度でニュートリノ振動を確認した。ニュートリノ事象数とエネルギースペクトルの両結果を合わせて、99.998% ( $4.3\sigma$ ) の信頼度でニュートリノ振動現象を確立した。

またK2K実験ではミューオンニュートリノが電子ニュートリノに変換するニュートリノ振動も探索し、 $\sin^2 2\theta_{\mu e} < 0.13$  ともっとも厳しい上限値を設定した（hep-ex/0603004、PRLに掲載決定。途中結果はPRL93, 051801(2004)）。他にも本研究の特筆すべき成果として、これまで不確定であった低エネルギーニュートリノ反応の断面積を高精度で決定した。特に新型測定器を使って、これまでの理論モデル（Rein&Sehgal model）で存在が予想されていた荷電カレントコヒーレント  $\pi$  生成反応が、低エネルギーでは大幅に抑制されていることを発見した。そしてコヒーレント  $\pi$  断面積の上限値は全荷電カレント反応のわずか0.6%以下（90% C.L.）という結果を得た。この結果は、K2K実験とフェルミ研のMiniBooNE実験で「低運動量移行事象の欠損パズル」として研究者を長年悩ませていた問題を解決した。また前置水チェレンコフ検出器を使って中性カレント  $\pi^0$  反応の断面積を測定し、全荷電カレント反応断面積に対し、 $6.4 \pm 0.1$ （統計誤差） $\pm 0.7$ （系統誤差）%という世界最高精度の結果を得た。

⑧特記事項 (この研究において得られた独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、当該研究分野及び関連研究分野への影響等、特記すべき事項があれば記入してください。)

### 1. ニュートリノ質量の確立

1998年に大気ニュートリノで発見されていたニュートリノ振動現象を、世界で初めて人工ニュートリノ(ニュートリノビーム)を使って検証した。測定されたニュートリノ振動の基本パラメータは大気ニュートリノ振動で測定されていたものと非常に良く一致している。この結果、ニュートリノが質量を持つことは確定的となり素粒子の標準理論を越えた現象を確立した。現在、太陽ニュートリノと原子炉反ニュートリノでもニュートリノ振動が続けて発見されており、これからニュートリノ振動の研究は発見から精密測定へと、いっそう発展していくことが予想される。

### 2. 長基線加速器ニュートリノ実験基幹技術の確立

加速器で生成したニュートリノを使って、世界で初めて地球規模の距離250kmはなれた2地点間でニュートリノ実験を行った。特に、大強度陽子ビームからのニュートリノビーム生成技術(ニュートリノビーム増強器:電磁ホーンシステム)、ニュートリノビームを遠方250km先に照準をあわせる技術(ミュオンモニター)、250km離れた点でのGPSシステムを用いた同時計測システム等の技術を世界に先駆けて開発した。加速器ニュートリノ実験の技術は、将来のニュートリノ物理学発展のために必須である。

### 3. 低エネルギーニュートリノ反応研究の新展開

将来の長基線ニュートリノ実験では、その実験技術同様、ニュートリノ測定のためのニュートリノ反応の詳細な理解が必要不可欠である。ニュートリノ反応の研究は素粒子と原子核の境界領域にまたがっており、今後の進展が期待される。このニュートリノ反応の研究において、我々はK2K実験の前置測定器の高精度データを使って、多くの新しい結果を発表した。

### 4. 超高感度ニュートリノ測定器の製作

ニュートリノ反応を高感度かつ高解像度で測定できる新型測定器の開発に成功した。新型ニュートリノ測定器は全領域がニュートリノ反応で生成される粒子に感度のあるシンチレータで構成されている。15トンの全体積を高解像度で測定するために、固形抽出型シンチレータの波長変換ファイバー読み出し技術を確立した。固形抽出型シンチレータは¥1,000/kgで製作できるようになったので、安価で大型の放射線計測器を製作できる基幹技術を確立したと言える。現在はニュートリノ測定器にこの技術を応用しているが、放射線計測が必要な分野(原子核、宇宙線、宇宙、医療、、、)等で大型の荷電粒子検出器が必要な際には応用可能な基礎技術である。

### 5. 高集積多チャンネル信号処理システムの開発

新型ニュートリノ測定器用に、新たに15,000チャンネル分の光検出器とそのアナログ信号処理回路が開発された。光検出器は8×8ピクセルの浜松フォトニクス社製多チャンネル光電子増倍管で、共同でその性能向上を行なった。また光電子増倍管の各ピクセルのエネルギーと時間情報を高速で記録するための専用電子回路もKEK回路室と共同で開発した。電子回路にはIDE社製の小型IC、VA/TAチップを使っている。VA/TAチップが光電子増倍管読み出し用として本実験に使用されるのは初めてのケースである。これらの技術は8×8のピクセル検出器のイメージ処理等に 응용が期待できる。特に浜松フォトニクスは医療分野でのイメージ計測に利用するために多チャンネル光電子増倍管を開発してきた。様々な分野で応用される多チャンネル光電子増倍管読み出しのための基幹技術として、我々の開発した電子回路は幅広く利用できる。

⑨研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(掲載が確定しているものを含む。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。)

### \* 発表論文

[1] "Evidence for Muon Neutrino Oscillation in an Accelerator-Based Experiment", E. Aliu, K. Nishikawa, T. Nakaya, T. Kobayashi, M. Yokoyama and the K2K collaboration (他154名、著者掲載はABC順), Phys. Rev. Lett. 94: 081802, 2005.

E. Aliu,<sup>1</sup> S. Andringa,<sup>1</sup> S. Aoki,<sup>10</sup> J. Argyriades,<sup>3</sup> K. Asakura,<sup>10</sup> R. Ashie,<sup>30</sup> H. Berns,<sup>33</sup> H. Bhang,<sup>20</sup> A. Blondel,<sup>26</sup> S. Borghi,<sup>26</sup> J. Bouchez,<sup>3</sup> J. Burguet-Castell,<sup>32</sup> D. Casper,<sup>28</sup> C. Cavata,<sup>3</sup> A. Cervera,<sup>26</sup> K. O. Cho,<sup>4</sup> J. H. Choi,<sup>4</sup> U. Dore,<sup>19</sup> X. Espinal,<sup>1</sup> M. Fechner,<sup>3</sup> E. Fernandez,<sup>1</sup> Y. Fukuda,<sup>15</sup> J. Gomez-Cadenas,<sup>32</sup> R. Gran,<sup>33</sup> T. Hara,<sup>10</sup> M. Hasegawa,<sup>12</sup> T. Hasegawa,<sup>22</sup> K. Hayashi,<sup>12</sup> Y. Hayato,<sup>7</sup> R. L. Helmer,<sup>25</sup> J. Hill,<sup>23</sup> K. Hiraide,<sup>12</sup> J. Hosaka,<sup>30</sup> A. K. Ichikawa,<sup>7</sup> M. Inuma,<sup>8</sup> A. Ikeda,<sup>17</sup> T. Inagaki,<sup>12</sup> T. Ishida,<sup>7</sup> K. Ishihara,<sup>30</sup> T. Ishii,<sup>7</sup> M. Ishitsuka,<sup>31</sup> Y. Itow,<sup>30</sup> T. Iwashita,<sup>7</sup> H. I. Jang,<sup>4</sup> E. J. Jeon,<sup>20</sup> I. S. Jeong,<sup>4</sup> K. Joo,<sup>20</sup> G. Jover,<sup>1</sup> C. K. Jung,<sup>23</sup> T. Kajita,<sup>31</sup> J. Kameda,<sup>30</sup> K. Kaneyuki,<sup>31</sup> I. Kato,<sup>12</sup> E. Kearns,<sup>2</sup> D. Kerr,<sup>23</sup> C. O. Kim,<sup>11</sup> M. Khabibullin,<sup>9</sup> A. Khotjantsev,<sup>9</sup> D. Kielczewska,<sup>34,21</sup> J. Y. Kim,<sup>4</sup> S. Kim,<sup>20</sup> P. Kitching,<sup>25</sup> K. Kobayashi,<sup>23</sup> T. Kobayashi,<sup>7</sup> A. Konaka,<sup>25</sup> Y. Koshio,<sup>30</sup> W. Kropp,<sup>28</sup> J. Kubota,<sup>12</sup> Yu. Kudenko,<sup>9</sup> Y. Kuno,<sup>18</sup> T. Kutter,<sup>27,13</sup> J. Learned,<sup>29</sup> S. Likhoded,<sup>2</sup> I. T. Lim,<sup>4</sup> P. F. Loverre,<sup>19</sup> L. Ludovici,<sup>19</sup> H. Maesaka,<sup>12</sup> J. Mallet,<sup>3</sup> C. Mariani,<sup>19</sup> T. Maruyama,<sup>7</sup> S. Matsuno,<sup>29</sup> V. Matveev,<sup>9</sup> C. Mauger,<sup>21</sup> K. McConnel,<sup>14</sup> C. McGrew,<sup>23</sup> S. Mikheyev,<sup>9</sup> A. Minamino,<sup>30</sup> S. Mine,<sup>28</sup> O. Mineev,<sup>9</sup> C. Mitsuda,<sup>30</sup> M. Miura,<sup>30</sup> Y. Moriguchi,<sup>10</sup> T. Morita,<sup>12</sup> S. Moriyama,<sup>30</sup> T. Nakadaira,<sup>12</sup> M. Nakahata,<sup>30</sup> K. Nakamura,<sup>7</sup> I. Nakano,<sup>17</sup> T. Nakaya,<sup>12</sup> S. Nakayama,<sup>31</sup> T. Namba,<sup>30</sup> R. Nambu,<sup>30</sup> S. Nawang,<sup>8</sup> K. Nishikawa,<sup>12</sup> K. Nitta,<sup>7</sup> F. Nova,<sup>1</sup> P. Novella,<sup>32</sup> Y. Obayashi,<sup>30</sup> A. Okada,<sup>31</sup> K. Okumura,<sup>31</sup> S. M. Oser,<sup>27</sup> Y. Oyama,<sup>7</sup> M. Y. Pac,<sup>5</sup> F. Pierre,<sup>3</sup> A. Rodriguez,<sup>1</sup> C. Saji,<sup>31</sup> M. Sakuda,<sup>7,17</sup> F. Sanchez,<sup>1</sup> A. Sarrat,<sup>23</sup> T. Sasaki,<sup>12</sup> K. Scholberg,<sup>6,14</sup> R. Schroeter,<sup>26</sup> M. Sekiguchi,<sup>10</sup> E. Sharkey,<sup>23</sup> M. Shiozawa,<sup>30</sup> K. Shiraiishi,<sup>33</sup> G. Sitjes,<sup>32</sup> M. Smy,<sup>28</sup> H. Sobel,<sup>28</sup> J. Stone,<sup>2</sup> L. Sulak,<sup>2</sup> A. Suzuki,<sup>10</sup> Y. Suzuki,<sup>30</sup> T. Takahashi,<sup>8</sup> Y. Takenaga,<sup>31</sup> Y. Takeuchi,<sup>30</sup> K. Taki,<sup>30</sup> Y. Takubo,<sup>18</sup> N. Tamura,<sup>16</sup> M. Tanaka,<sup>7</sup> R. Terri,<sup>23</sup> S. T'Jampens,<sup>3</sup> A. Tornero-Lopez,<sup>32</sup> Y. Totsuka,<sup>7</sup> S. Ueda,<sup>12</sup> M. Vagins,<sup>28</sup> C. W. Walter,<sup>6</sup> W. Wang,<sup>2</sup> R. J. Wilkes,<sup>33</sup> S. Yamada,<sup>9</sup> S. Yamamoto,<sup>12</sup> C. Yanagisawa,<sup>23</sup> N. Yershov,<sup>9</sup> H. Yokoyama,<sup>24</sup> M. Yokoyama,<sup>12</sup> J. Yoo,<sup>20</sup> M. Yoshida,<sup>18</sup> and J. Zalipska<sup>21</sup>

(The K2K Collaboration)

[2] "Indications of neutrino oscillation in a 250 km long baseline experiment", M.H. Ahn, K. Nishikawa, T. Kobayashi T. Nakaya, and the K2K collaboration (他95名上記参照、著者掲載はABC順), Phys. Rev. Lett. 90: 041801, 2003.

[3] "Search for Coherent Charged Pion Production in Neutrino-Carbon Interactions", M. Hasegawa, K. Nishikawa, T. Kobayashi, T. Nakaya, M. Yokoyama and the K2K collaboration (他154名上記参照、他著者掲載はABC順), Phys. Rev. Lett. 95: 252301, 2005.

[4] "Search for Electron Neutrino Appearance in a 250 km long baseline experiment", M.H. Ahn, K. Nishikawa, T. Kobayashi, T. Nakaya and K2K collaboration (他102名上記参照、著者掲載はABC順), Phys. Rev. Lett. 93: 051801, 2004.

[5] "Measurement of Single  $\pi^0$  production in neutral current neutrino interactions with water by a 1.3 GeV wide band muon neutrino beam", S. Nakayama, K. Nishikawa, T. Kobayashi, T. Nakaya and the K2K collaboration (他102名、他著者掲載はABC順), Phys. Lett. B619: 255-262, 2005."

[6] "Detection of accelerator produced neutrinos at a distance of 250 km.", S.H. Ahn, K. Nishikawa, T. Kobayashi, T. Nakaya and the K2K collaboration (他110名、他著者掲載はABC順), Phys. Lett. B511: 178-184, 2001.

[7] "Measurement of the production cross-section of positive pions in p-Al collisions at 12.9 GeV/c", M.G. Catanei, K. Nishikawa, T. Nakaya T. Kobayashi, and the HARP collaboration (他118名、他著者掲載はABC順), Nucl. Phys. B732: 1-45, 2006.

⑨研究成果の発表状況（続き）（この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（掲載が確定しているものを含む。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。）

- [8] “K2K and a next generation neutrino oscillation experiment”, K. Nishikawa, Nucl. Proc. Suppl. 137: 28-45, 2004.
- [9] “The K2K SciBar detector”, K. Nitta, K. Nishikawa, T. Kobayashi, T. Nakaya, M. Yokoyama and the K2K-SciBar group (他55名、他著者掲載はABC順), Nucl. Instrum. Meth. A535: 147-151, 2004.
- [10] “Development of the readout system for the K2K SciBar detector”, M. Yoshida, K. Nishikawa, T. Kobayashi, T. Nakaya, M. Yokoyama and the K2K-SciBar group (他55名、他著者掲載はABC順), IEEE Trans. Nucl. Sci. 51: 3043-3046, 2004.
- [11] “Results from K2K”, K. Nishikawa, Nucl. Proc. Suppl. 118: 129-137, 2003.
- [12] “Tracking performance of the scintillating fiber detector in the K2K experiment”, B.J. Kim, K. Nishikawa, T. Kobayashi and the K2K-SciFi group (他40名、他著者掲載はABC順), Nucl. Instrum. Meth. A497: 450-466, 2003.
- [13] “Near muon range detector for the K2K experiment: Construction and performance”, T. Ishii, K. Nishikawa, T. Kobayashi and the K2K-MRD group (他35名、他著者掲載はABC順), Nucl. Instrum. Meth. A482: 244-253, 2002.
- [14] “K2K results”, T. Nakaya, Nucl. Proc. Suppl. 143: 96-103, 2005.
- [15] “Summary of the neutrino oscillation physics working group at NuFact04”, T. Nakaya, S. Brice and K. Long, Nucl. Proc. Suppl. 149: 111-118, 2005.
- [16] “Translation from near to far at K2K”, T. Kobayashi, J. Phys. G29: 1911-1914, 2003.
- [17] “Conventional neutrino beams at K2K and JHF”, T. Kobayashi, Nucl. Instrum. Meth. A503: 418-420, 2003.

**\* 国際会議での招待講演**

- (1) K. Nishikawa at the Neutrino Mass and Seesaw Mechanism (SEESAW 1977-2004), Tsukuba, Japan, 23-25 February 2004, “K2K and a next generation neutrino oscillation experiment”.
- (2) K. Nishikawa at the 20<sup>th</sup> International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (NEUTRINO 2002), Munich, Germany, 25-30 May 2002, “Results from K2K”.
- (3) T. Nakaya at the 8<sup>th</sup> ICFA seminar on “Future Perspectives in High Energy Physics”, Daegu, Korea, 28 September – 1 October 2005, “Experiments with high energy neutrinos”.
- (4) T. Nakaya at the 11<sup>th</sup> International Workshop on Neutrino Telescopes, Venice, Italy, 22-25 February 2005, “The neutrino physics at accelerators: The high intensity frontier”.
- (5) T. Nakaya at the 21<sup>th</sup> International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics (NEUTRINO 2004), Paris, France, 14-19 June 2004, “K2K Results”.
- (6) T. Nakaya at the 4<sup>th</sup> Tropical Workshop on Particle Physics and Cosmology: Neutrinos, Flavor Physics and Precision Cosmology, Cairns, Australia, 9-13 June 2003, “K2K experiment”.
- (7) T. Nakaya at the 22<sup>nd</sup> Physics in Collision Conference (PIC 2002), Stanford, USA, 20-22 June 2002, “Atmospheric and long baseline neutrino”.
- (8) T. Nakaya at the Lake Louise Winter Institute, CANADA, 18-24 February 2001, “Recent Results from K2K”.

⑨研究成果の発表状況（続き）（この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（掲載が確定しているものを含む。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会、特許等の発表状況について記入してください。なお、代表的な論文3件に○を、また研究代表者に下線を付してください。）

- (9) T. Kobayashi at the 11th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics, Moscow, Russia, 21-27 August 2003, “Long baseline neutrino experiments”.
- (10) T. Kobayashi at the 4th International Workshop on Neutrino Factories, London, England, 1-6 July 2002, “Translation from near to far at K2K”.
- (11) T. Kobayashi at the 3rd International Workshop on Neutrino Factory based on Muon Storage Rings (NuFACT'01), Tsukuba, Japan, 24-30 May 2001, “Conventional neutrino beams at K2K and JHF”.
- (12) M. Yokoyama at the 32nd SLAC Summer Institute on Particle Physics (SSI 2004), Stanford, USA, 2-13 August 2004, “Recent results from K2K”.

**\* 国内学会での招待講演**

- (1) 西川 公一郎, 日本物理学会第61回年次大会、松山大学、3月27-30日, “K2K実験の最終結果”.
- (2) 横山 将志、日本物理学会第59回年次大会、九州大学、3月27-30日, “KEK 12GeV PSにおける長基線ニュートリノ振動実験（K2K）の最新結果”.

**\* その他**

- (1) 西川 公一郎、日本物理学会誌第58巻第5号、「KEK-神岡間長基線ニュートリノ振動実験K2Kと次期計画」.
- (2) T. Nakaya, “New Pass at neutrino mass”, Science News, Vol.165, page 414 (2004)
- (3) T. Nakaya, invited talk at the 9<sup>th</sup> “Science in Japan” Forum, Cosmos Club, Washington DC, 11 June 2004, “K2K –Physics with Accelerator-Produced Neutrinos Across Japan”.