

I S S N 1341-6839

情報処理センター
研 究 報 告

The Bulletin of the Information Processing Center

第 22 号

(2001.3)

岡山理科大学

Okayama University of Science

岡山市理大町1-1

Tel (086) 252-3012 (直)

目次

1. 不均一表面上の吸着点分布の解析

理学部・化学科

森 重 國 光 1

2. 代理制約法における最適代理乗数の決定法

工学部

太田垣 博 一 21

情報処理センター

岩 崎 彰 典

3. 変数分離可能な多次元非線形ナップザック問題の解法

情報処理センター

岩 崎 彰 典 23

工学部

太田垣 博 一

4. 2.4GHz帯無線 LAN によるキャンパス内「どこでも学習」基盤の構築

総合情報学部・情報科学科

大西 莊一・山本英二

情報処理センター

市 田 義 明 29

NTT 西日本株式会社岡山支店 惣 臺 聖 治

不均一表面上の吸着点分布の解析

化学科 森重 国光

To examine the structures and growth modes of adsorbed layers on heterogeneous surfaces, we performed simultaneous measurements of adsorption isotherms and x-ray diffraction patterns of Kr, N₂, and H₂O on hydroxylated silica at 80, 50, and 270 K, respectively. The adsorption of N₂ resulted in type II isotherm, whereas that of H₂O led to type III isotherm. The adsorption isotherm of Kr was intermediate between them. The analysis of the diffraction patterns showed that the molecules of Kr and N₂ adsorbed on hydroxylated silica formed simple triangular lattices of medium-range order and thus they were nearly close packed on the heterogeneous surface. On the other hand the H₂O monolayer did not possess even short-range order. At a monolayer capacity of the BET equation the nitrogen cross-sectional area was 15.5 Å², the difference with the frequently used value of 16.2 Å² being only 4%. At the BET monolayer capacity neither Kr nor H₂O molecules covered completely the surface of the hydroxylated silica.

1. Introduction

Most of the surfaces of industrial adsorbents and catalysts are highly heterogeneous. Recently, gas adsorption on heterogeneous surfaces has been extensively studied by means of computer simulations,¹⁻⁹ in order to obtain a better understanding of the adsorption characteristics and also to elucidate the nature and origin of the heterogeneity of solid surfaces. Experimental data that can be used to validate the simulations of gas adsorption on heterogeneous surfaces are scarce, however, although adsorption isotherms and isosteric heats of adsorption from experiments and simulations are usually compared with each other. Thus far only a distribution of energies of adsorption sites has been explored experimentally.

Diffraction of the adsorbed layers can give information on a spatial distribution of gas molecules adsorbed on heterogeneous surfaces. It has long been imagined that complete

monolayers on such solids have densities close to two-dimensional (2D) close packing, or at least close to what one would expect on the basis of the packing in the bulk liquid near its normal boiling point.¹⁰ The picture is the basis for the use of the BET equation¹¹ to obtain specific surface area based on monolayer capacity and molecular cross-sectional area obtained from liquid density. The monolayer capacity is defined as the amount of adsorbate which can be accommodated in a completely filled monolayer on the surface of unit mass of the adsorbent. The molecular cross sectional area is the area occupied by an adsorbate molecule in the complete monolayer. Obviously, both quantities depend upon the structure of the monolayer. The purpose of the present study is to examine the structures of Kr, N₂, and H₂O physisorbed on a hydroxylated silica surface by means of x-ray diffraction, in order to give more discrete picture on the structures and growth modes of adsorbed layers on heterogeneous surfaces. Hydroxylated silica presents a typical heterogeneous surface for gas adsorption.^{3,5,8} Nitrogen has a large quadrupole moment that explains its ability to interact with certain surface hydroxyls and is frequently used as an adsorptive in measurements of specific surface areas of adsorbents by means of the BET method. On the other hand krypton does not have a quadrupole moment and cannot present preferential interactions with surface hydroxyls. Water molecule hydrogen bonds with different types of surface hydroxyls on hydroxylated silica.¹²

2. Experimental Section

Pyrogenic silica (Aerosil 200CF) was used as received. The experimental apparatus for simultaneous measurements of adsorption isotherms and x-ray diffraction patterns have been described in detail elsewhere.¹³ The x-ray measurements were carried out with MoK α radiation in a symmetrical transmission geometry. A self-supporting disk (~ 0.02g) of 12 mm diameter was attached to a sample holder of Cu. In addition a thin-walled Cu semicylinder containing ~0.13g of the adsorbent was also attached to the sample holder, out of the x-ray beam. This was used as a gas ballast to measure and maintain a precise coverage of molecules on the surface. The sample holder was then attached to the cold head of a He closed-cycle refrigerator and

sealed in a sample cell constructed of a cylindrical Be window and a Cu flange, with an In O-ring. In total, the cell contained ~0.15g of the adsorbent.

After prolonged evacuation at room temperature, the adsorbent was cooled to a desired temperature (80K for Kr, 50K for N₂, and 270K for H₂O) and then the background spectrum was measured. Adsorption isotherms of Kr, N₂, and H₂O on the substrate inside the x-ray cryostat were measured at the same temperature. X-ray diffraction patterns were measured at each vapor-pressure point of adsorption. After correction for attenuation due to adsorbent and adsorbed gas, the diffraction pattern of the adsorbed layer was obtained by subtraction of data for charged and empty adsorbents.

3. Results

Figure 1 shows the adsorption isotherms that were measured coincidentally with scattering experiments. The adsorption of N₂ on a hydroxylated silica surface resulted in type II isotherm, whereas that of H₂O led to type III isotherm. The adsorption isotherm of Kr was intermediate between them. The shape of the isotherms of Kr and N₂ in the multilayer range indicates that the adsorbed layer does not develop continuously at saturation pressure to form the bulk solid phase. As the adsorption temperatures of Kr and N₂ were well below their triple points of bulk phases, such phenomena may be related to the so-called triple point wetting.¹⁴ Indeed, the measurements of x-ray transmittance for the substrate as a function of the amount adsorbed showed that the amount of Kr adsorbed on the adsorbent at the saturation pressure increased with increasing temperature. The monolayer capacities of Kr, N₂, and H₂O were estimated to be 31.3, 51.3, and 16.0 ml(STP)/g, respectively, from applying the BET method to the isotherms. Therefore, nominal coverages of Kr and N₂ do not exceed three even at their saturation pressures. The BET C values of Kr, N₂, and H₂O were 19, 216, and 8, respectively. This suggests that monolayer and multilayer formations for Kr and H₂O take place competitively to some extent.

At each vapor-pressure point, a x-ray scan was performed from 0.77 to 4.57 Å⁻¹. Some of the

diffraction patterns for Kr, N₂, and H₂O are shown in Figures 2, 3, and 4, respectively. The abscissa of these figures represents the magnitude of the scattering vector, $Q=4\pi\sin\theta/\lambda$. The solid lines in the figures are fits to a powder-averaged Gaussian line shape¹⁵ appropriate to a 2D solid monolayer. Although the line shapes for bilayer and trilayer are different from that of monolayer,¹⁶ the broadness of the diffraction pattern observed makes meaningless the use of the line shape more appropriate to these multilayers at higher coverages. All these diffraction patterns were broad, indicating that the adsorbed molecules form disordered monolayers and multilayers. Especially, the H₂O adsorbed below the monolayer capacity gave a very diffuse diffraction pattern centered at $Q=1.7 \text{ \AA}^{-1}$. This strongly suggests that the adsorbed H₂O molecules have little correlation within the layer. When the saturation pressure was approached, an additional peak appeared around $Q= 2.9 \text{ \AA}^{-1}$. This pattern is similar to that observed for a confined water in mesopores,¹⁷ suggesting the formation of a three-dimensional (3D) cluster of water on the hydroxylated silica surface just before the saturation pressure is achieved.

Figures 5 and 6 show the deconvoluted peak positions (Q_0) and coherence lengths (L), respectively, obtained from Gaussian fits as a function of the amount adsorbed for Kr, N₂, and H₂O. For all three adsorbates the peak positions shifted into a higher Q with increasing amount of adsorption. This suggests that the intermolecular distances in the layers decrease with increasing amount of adsorption. As Figure 6 shows, the coherence lengths of Kr and N₂ in monolayers were only three or four times the molecular diameters. The coherence length of H₂O in the monolayer was exceedingly small. The monolayer of H₂O does not possess even short-range order. This may reflect the random distribution of surface hydroxyls on the hydroxylated silica surface.¹⁸

Both the molecules of Kr¹⁹ and N₂²⁰ adsorbed on the basal plane of graphite form 2D triangular center-of-mass lattices with the same or similar lattice constants. We calculated the powder diffraction patterns of such lattices for both monolayers, in order to compare with the observed diffraction patterns. Fitting parameters are nearest-neighbor distance (a_m) and coherence length (L). As Figure 7 shows, fits between the observed and calculated diffraction

patterns were reasonable, in spite of simplicity of the model. The observed a_m values were close to the distances in their corresponding bulk phases.^{21,22} The low L values strongly suggest that both monolayers possess only medium-range order similar to that of a 2D liquid²³ on homogeneous surfaces, although they form simple triangular lattices of nearly close packed molecules on the surface.^{24,25}

4. Discussion

4.1 Structure of monolayer The molecules of Kr and N₂ adsorbed on the heterogeneous surface of hydroxylated silica at low temperatures form monolayers of the structures close to 2D close packing of spherical molecules at their complete monolayers. The coherence lengths of these monolayers were comparable to those observed for 2D liquids^{19,20,26,27} of these molecules on a highly homogeneous surface of graphite. It must be recalled, however, that 2D liquids on homogeneous surfaces are highly correlated as compared to their corresponding 3D liquids. Therefore, the present results seem to give a strong support for the assumption of the BET method that heterogeneous surfaces generally will become fully covered with molecules in the monolayer, regardless of their spatial distribution of strong and weak sites. The order of the monolayer of N₂ was lower than that of Kr. The N₂ molecule has a large quadrupole moment and thus the adsorption of N₂ would be more site-specific than Kr of a nonpolar molecule.

On the other hand, the H₂O monolayer does not possess even short-range order. The H₂O molecule hydrogen bonds preferentially with some of the surface hydroxyls on hydroxylated silica.¹² Different types of surface hydroxyls distribute randomly on its surface.¹⁸ Therefore, the adsorbed H₂O molecules in a monolayer have no correlation.

4.2 Cross sectional area of molecule

Surface areas of adsorbents and catalysts are usually determined by combining the monolayer capacities obtained from the BET analysis with estimates of the occupied area (σ) of molecule in the first adsorbed layer. σ is an important measure in measurements of surface area of powdered solids. N₂ molecule is a common adsorptive used for this purpose. Although there

have been several attempts²⁸⁻³² to determine the nitrogen cross sectional area on heterogeneous surfaces, none of them are reliable. At low temperatures physisorbed molecules form crystalline monolayers on homogeneous surfaces. In this case, diffractometry is used to determine the structures of the monolayers and thus σ can be estimated accurately. N_2 molecule occupied 15.72 \AA^2 within the monolayer commensurate to the basal plane of graphite and even smaller areas within the incommensurate monolayers.²⁰ These values are distinctly smaller than the value of 16.2 \AA^2 frequently used in the BET method. Therefore, it is interesting to try to estimate the value of $\sigma(N_2)$ on heterogeneous surfaces by diffractometry.

Both the monolayers of Kr and N_2 on hydroxylated silica form 2D triangular center-of-mass lattices of small coherence lengths. From the peak positions of the (10) reflection one can determine a_{nn} and σ of the adsorbed molecule. Figure 8 shows a_{nn} of Kr and N_2 as a function of the amount adsorbed. In this respect, we emphasize the need of the line shape analysis based on the monolayer model. The true peak position corresponding to the Bragg reflection from the monolayer is inconsistent with the observed peak position. If one determined a_{nn} based on simple analysis of an observed peak position, it would lead to unreasonably small value of a_{nn} in a monolayer. It must be recalled, however, that the peak position of a trilayer film is dependent not only on the lateral separation of the molecules, but also on the stacking mode.¹⁶ a_{nn} of Kr²¹ and N_2 ²² in their bulk solids at the experimental temperatures are 4.06 and 4.05 \AA , respectively. On the other hand a_{nn} of Kr and N_2 in their complete monolayers on homogeneous adsorbents is as follows: 4.10 \AA for both monolayers on boron nitride¹³, 4.15 \AA for Kr on nickel chloride³³, and 4.03 \AA for N_2 ²⁰ and 4.09 \AA for Kr¹⁹ on graphite. a_{nn} of Kr and N_2 on hydroxylated silica is slightly larger than that on homogeneous surfaces. The heterogeneous character of the substrate seems not to allow a perfectly close triangular packing. Within a monolayer region, a_{nn} of N_2 is larger than that of Kr. Preferential interactions of N_2 molecule with surface hydroxyls due to its large quadrupole moment would prevent closer packing on heterogeneous surfaces. Figure 9 shows σ of Kr and N_2 as a function of the amount adsorbed. When the amount adsorbed was increased, $\sigma(N_2)$ and $\sigma(Kr)$ decreased rapidly within a monolayer region. The coverage

dependence of $\sigma(\text{N}_2)$ observed is similar to that obtained by computer simulations¹⁸, although the absolute values differ from each other. $\sigma(\text{N}_2)$ decreased from 17.3 \AA^2 at a low coverage to 15.5 \AA^2 at a monolayer capacity. It is surprising to know that at a monolayer capacity the difference with the frequently used value of 16.2 \AA^2 is only 4%. In a monolayer region, $\sigma(\text{Kr})$ is smaller than $\sigma(\text{N}_2)$. This is opposed to the general belief that $\sigma(\text{Kr})$ is larger than $\sigma(\text{N}_2)$.³⁴ At a monolayer capacity $\sigma(\text{Kr})$ was 15.3 \AA^2 .

4.3 Growth mode of adsorbed layer

Computer simulations show that strong and weak sites for gas adsorption are randomly distributed over heterogeneous silica surfaces.^{6,7} Strong sites are separated from each other. Notwithstanding, the present results clearly show that 2D clusters of Kr and N_2 are formed on hydroxylated silica even at low coverage of 0.3. Therefore, lateral interactions are important in physisorption of these molecules. The molecule adsorbed on a strong site would act as a nucleation site for a 2D cluster. 2D clusters grow with increasing coverage, although the coherence length was only three or four molecular diameters even within their complete monolayers. Combination of monolayer capacities from the BET analysis with σ determined above lead to evaluation of the specific surface area (S_{BET}) of the substrate. S_{BET} from Kr and N_2 are 129 and $214 \text{ m}^2/\text{g}$, respectively. Obviously smaller value of S_{BET} from Kr comes from its low monolayer capacity. It is evident that at its monolayer capacity the surface is not yet completely covered with Kr molecules. The low C value strongly suggests that the difference in adsorption energy between the first and second adsorbed layers is small and thus the multilayer formation commences well before the monolayer completion. The present results clearly indicates that in this case the monolayer capacity estimated from the BET analysis is exceedingly smaller than the amount of adsorbate which can be accommodated in the completely filled monolayer on the surface. a_{nn} slightly decreased when multilayers are formed.

Acknowledgment. We wish to acknowledge critical reading of our manuscript with Professors W.A.Steel and V.A.Bakaev. This work was supported in part by a Grant-in-Aid for Scientific Research (12440201) from the Japanese Government.

References

- (1) Bakaev, V.A.; Steele, W.A. *Langmuir* 1992,8,1379.
- (2) Kaminsky, R.D.; Monson, P.A. *Langmuir* 1994,10,530.
- (3) Mamleev, V.Sh.; Bekturov, E.A. *Langmuir* 1996,12,3630.
- (4) Monson, P.A.; Vuong, T. *Langmuir* 1996,12,5425.
- (5) Gordon, P.A.; Glandt, E.D. *Langmuir* 1997,13,4659.
- (6) Bakaev, V.A.; Steele, W.A. *J.Chem.Phys.*1999,111,9803.
- (7) Bakaev, V.; Steele, W.; Bakaev, T.; Pantano, C. *J.Chem.Phys.*1999,111,9813.
- (8) Cascarini de Torre, L.E.; Flores, E.S.; Bottani, E.J. *Langmuir* 2000,16,1896.
- (9) Bakaev, T.I.; Bakaev, V.A.; Pantano, C.G. *Langmuir* 2000,16,5712.
- (10) Gregg, S.J.; Sing, K.S.W. *Adsorption, Surface Area and Porosity*, 2nd ed.; Academic Press: London, 1982,p 41.
- (11) Brunauer, S.; Emmett, P.H.; Teller, E. *J.Am.Chem.Soc.*1938,60,309.
- (12) Fubini, B.; Bolis, V.; Cavenago, A.; Garrone, E.; Ugliengo, P. *Langmuir* 1993,9,2712.
- (13) Morishige, K.; Inoue, K.; Imai, K. *Langmuir* 1996,12,4889.
- (14) Krim, J.; Dash, J.G.; Suzane, J. *Phys.Rev.Lett.*1984,52,640.
- (15) Schildberg, H.P.; Lauter, H.J. *Surf.Sci.*1989,208,507.
- (16) Larese, J.Z.; Harada, H.; Passell, I.; Krim, J.; Satija, S. *Phys. Rev. B* 1988,37,4735.
- (17) Morishige, K.; Kawano, K. *J.Chem.Phys.*1999,110,4867.
- (18) Chung, I.-S.; Maciel, G.E. *J.Phys.Chem.B* 1997,101,3052.
- (19) Stephens, P.W.; Heiney, P.A.; Birgeneau, R.J.; Horn, P.M.; Moncton, D.E.; Brown, G.S. *Phys.Rev.B* 1984,29,3512.
- (20) Kjems, J.K.; Passell, L.; Taub, H.; Dash, J.G.; Novaco, A.D. *Phys.Rev.B* 1976,13,1446.
- (21) Pollack, G.L. *Rev.Mod.Phys.*1964,36,748.
- (22) Schuch, A.F.; Mills, R.L. *J.Chem.Phys.*1970,52,6000.

- (23) Brinkman, W.F.; Fisher, D.S.; Moncton, D.E. Science 1982,217,693.
- (24) Huber, P.; Knorr, K. Phys.Rev.B 1999,60,12657.
- (25) Huber, P.; Wallacher, D.; Knorr, K. Phys.Rev.B 1999,60,12666.
- (26) Taub, H.; Carneiro, K.; Kjems, J.K.; Passell, L. Phys.Rev.B 1977,16,4551.
- (27) Heiney, P.A.; Birgeneau, R.J.; Brown, G.S.; Horn, P.M.; Moncton, D.E.; Stephens, P.W. Phys.Rev.Lett.1982,48,104.
- (28) Harkins, W.D.; Jura, G. J.Am.Chem.Soc.1944,66,1362,1366.
- (29) Pickering, H.L.; Eckstrom, H.G. J.Am.Chem.Soc.1952,74,4775.
- (30) Alexander, G.B.; Iler, R.K. J.Phys.Chem.1953,57,932.
- (31) Kodera, K.; Onishi, Y. Bull.Chem.Soc.Jpn.1960,33,338.
- (32) Jelinek, L.; Kovats, E. Langmuir 1994,10,4225.
- (33) Morishige, K.; Hanayama, M.; Kittaka, S. J.Chem.Phys.1988,88,451.
- (34) Gregg, S.J.; Sing, K.S.W. Adsorption, Surface Area and Porosity, 2nd ed.; Academic Press: London, 1982,p 77.

Figure captions

Figure 1. Adsorption isotherms of Kr, N₂, and H₂O on hydroxylated silica. The measurements for Kr, N₂, and H₂O were performed at 80, 50, and 270 K, respectively.

Figure 2. X-ray diffraction patterns of Kr on hydroxylated silica as a function of coverage at 80 K. Solid lines are fits to the data as described in the text.

Figure 3. X-ray diffraction patterns of N₂ on hydroxylated silica as a function of coverage at 50 K. Solid lines are fits to the data as described in the text.

Figure 4. X-ray diffraction patterns of H₂O on hydroxylated silica as a function of coverage at

270 K. Solid lines are fits to the data as described in the text.

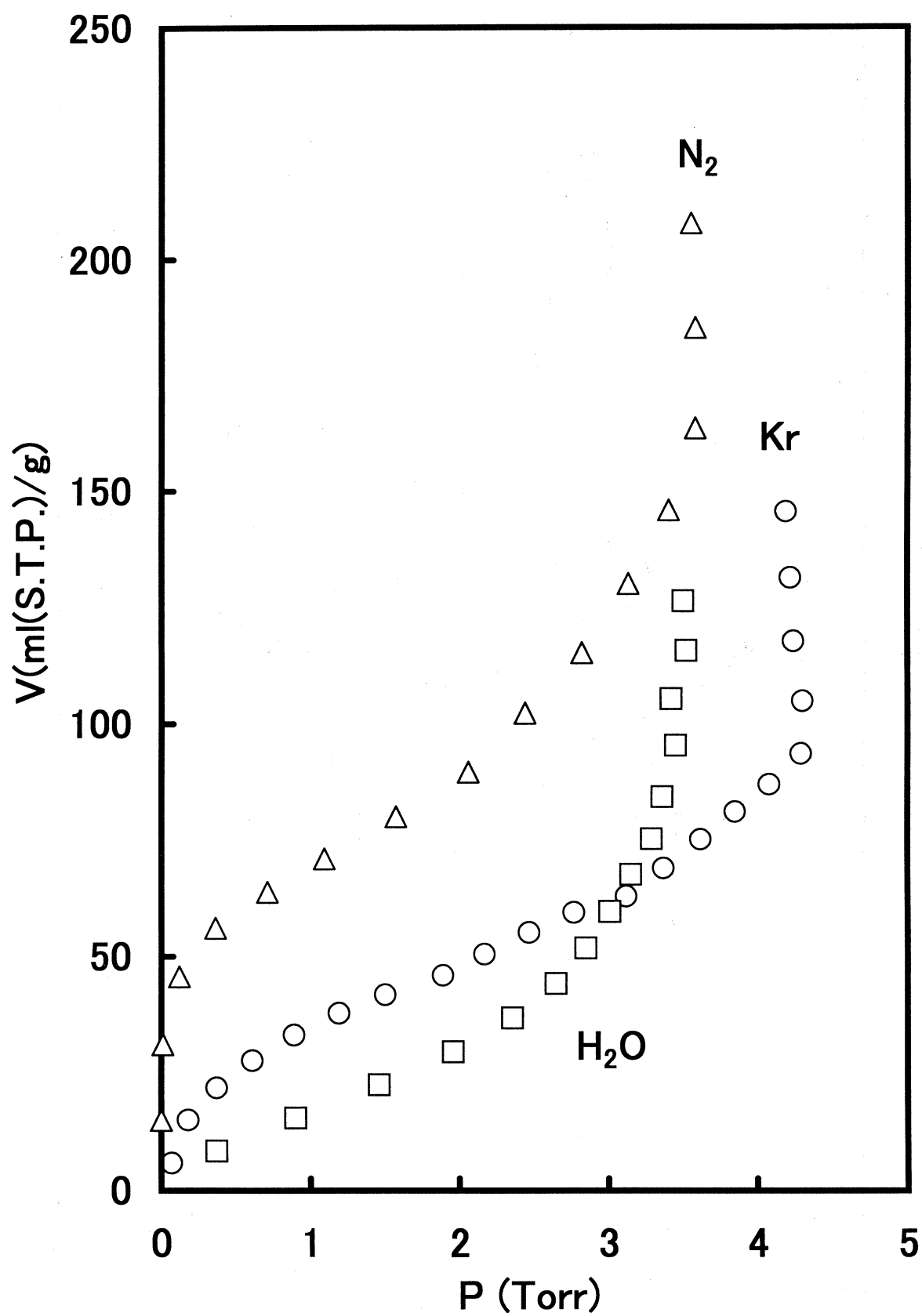
Figure 5. Peak positions of Kr, N₂, and H₂O on hydroxylated silica as a function of the amount adsorbed at fixed temperatures. The measurements of Kr, N₂, and H₂O were performed at 80, 50, and 270 K, respectively.

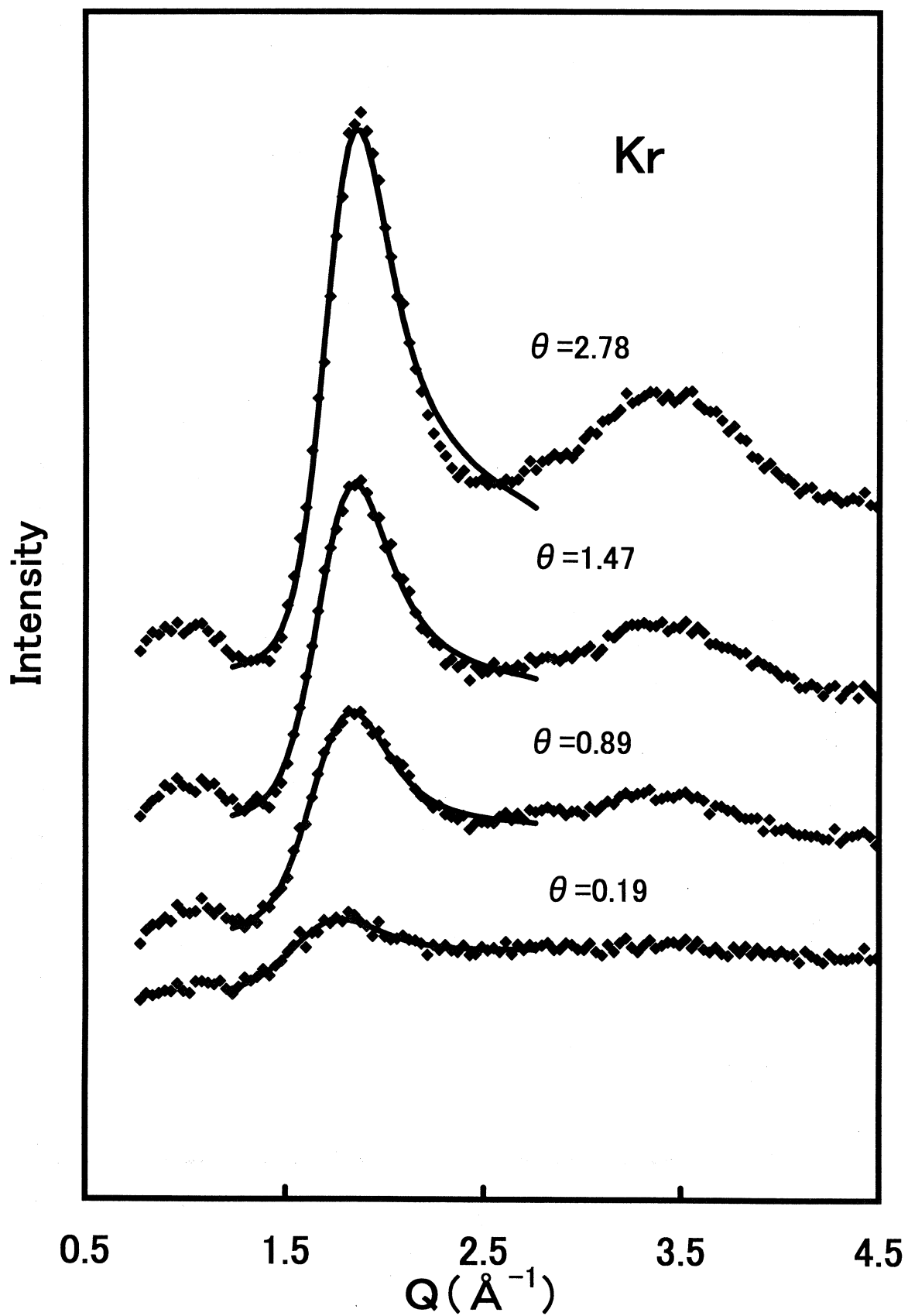
Figure 6. Coherence lengths of Kr, N₂, and H₂O on hydroxylated silica as a function of the amount adsorbed at fixed temperatures. The measurements of Kr, N₂, and H₂O were performed at 80, 50, and 270 K, respectively.

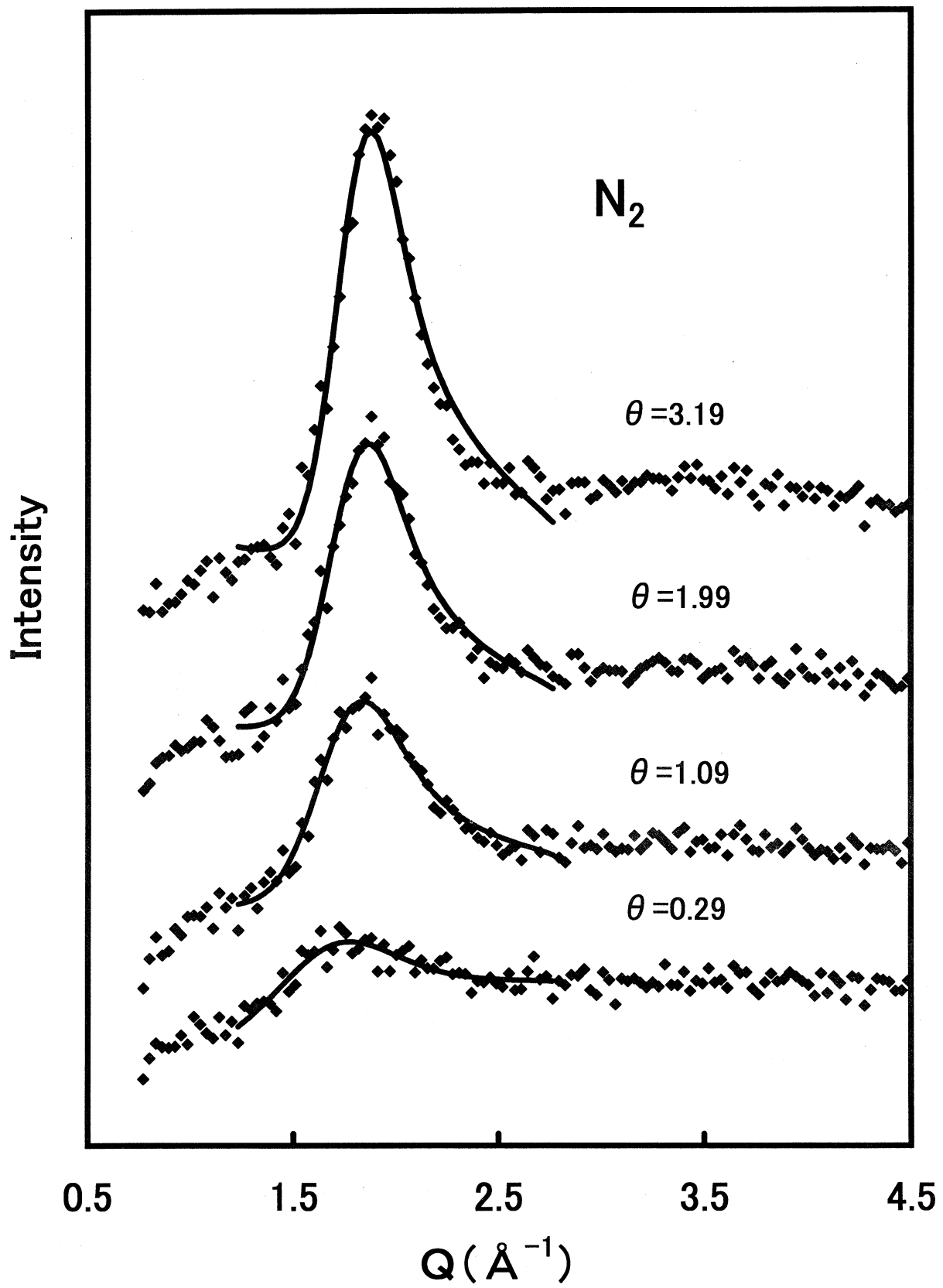
Figure 7. Comparison of the measured monolayer diffraction patterns of Kr (38 ml(STP)/g) and N₂ (56 ml(STP)/g) with powder patterns calculated for a 2D triangular lattice. Identical nearest-neighbor distances of 4.19 Å and thermal parameters of 4 Å² were assumed for both the monolayers. The coherence lengths of Kr and N₂ monolayers were 15 and 13 Å, respectively.

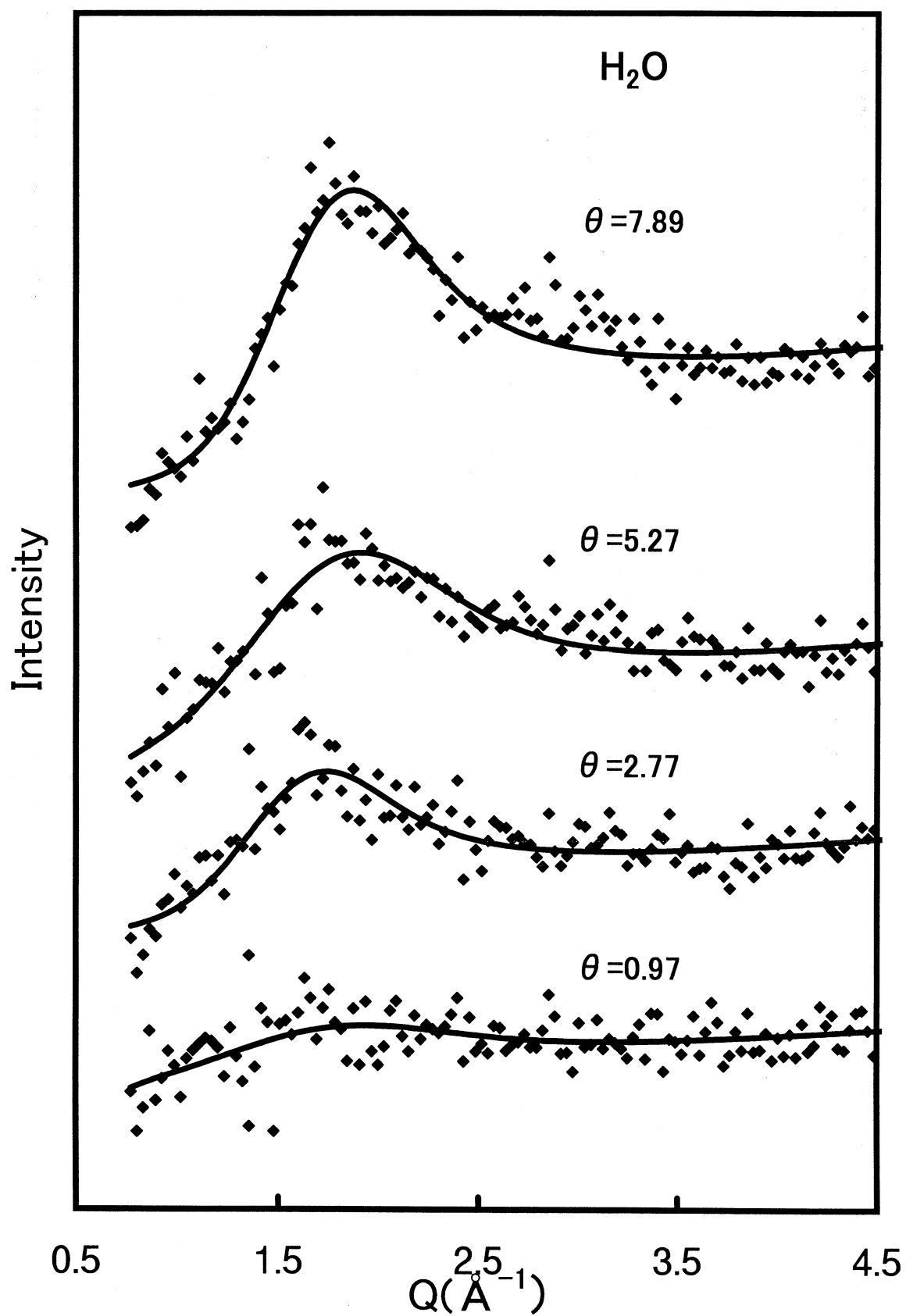
Figure 8. Nearest-neighbor distances of Kr (80 K) and N₂ (50 K) on hydroxylated silica as a function of the amount adsorbed.

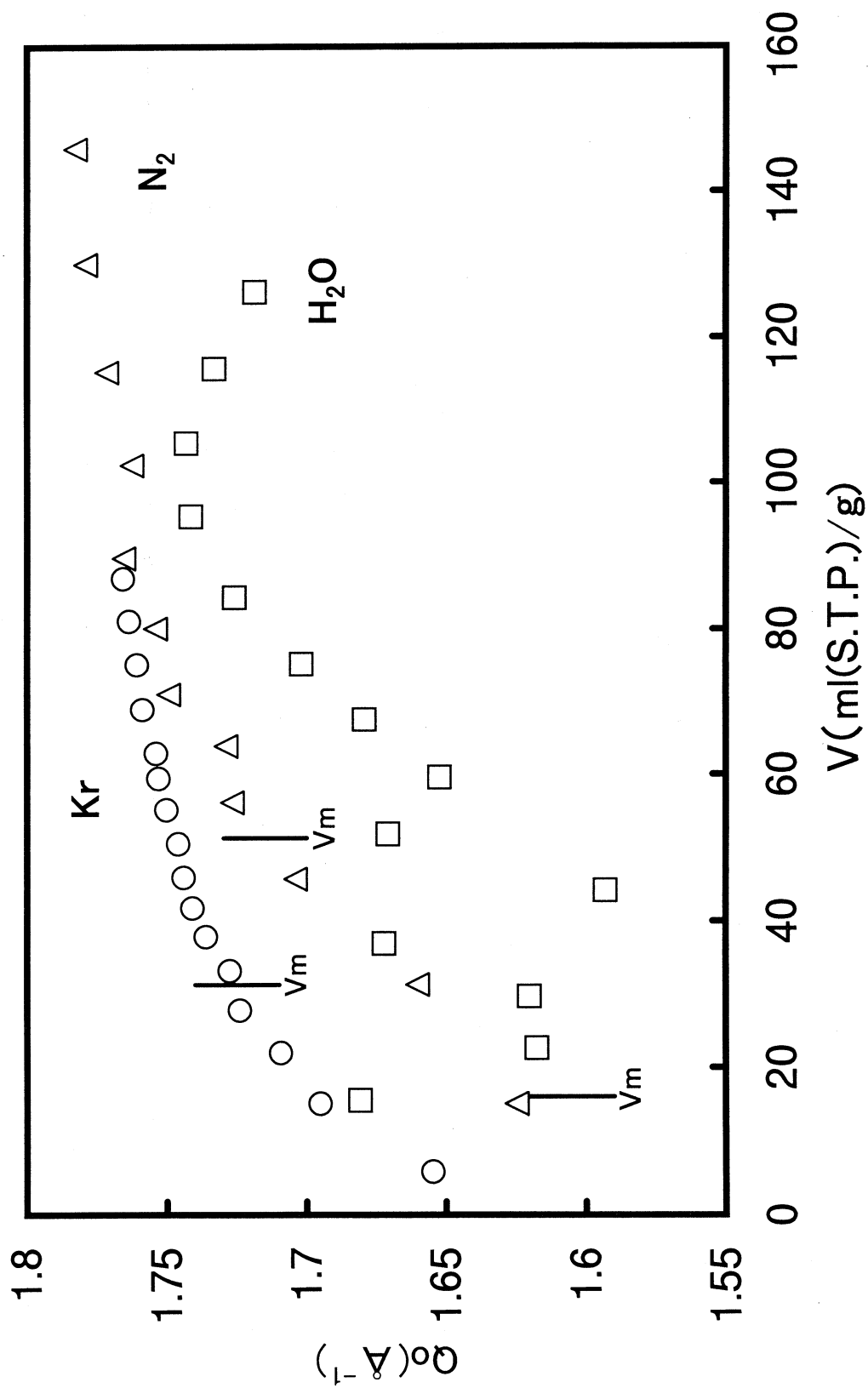
Figure 9. Molecular cross-sectional areas of Kr (80 K) and N₂ (50 K) on hydroxylated silica as a function of the amount adsorbed.

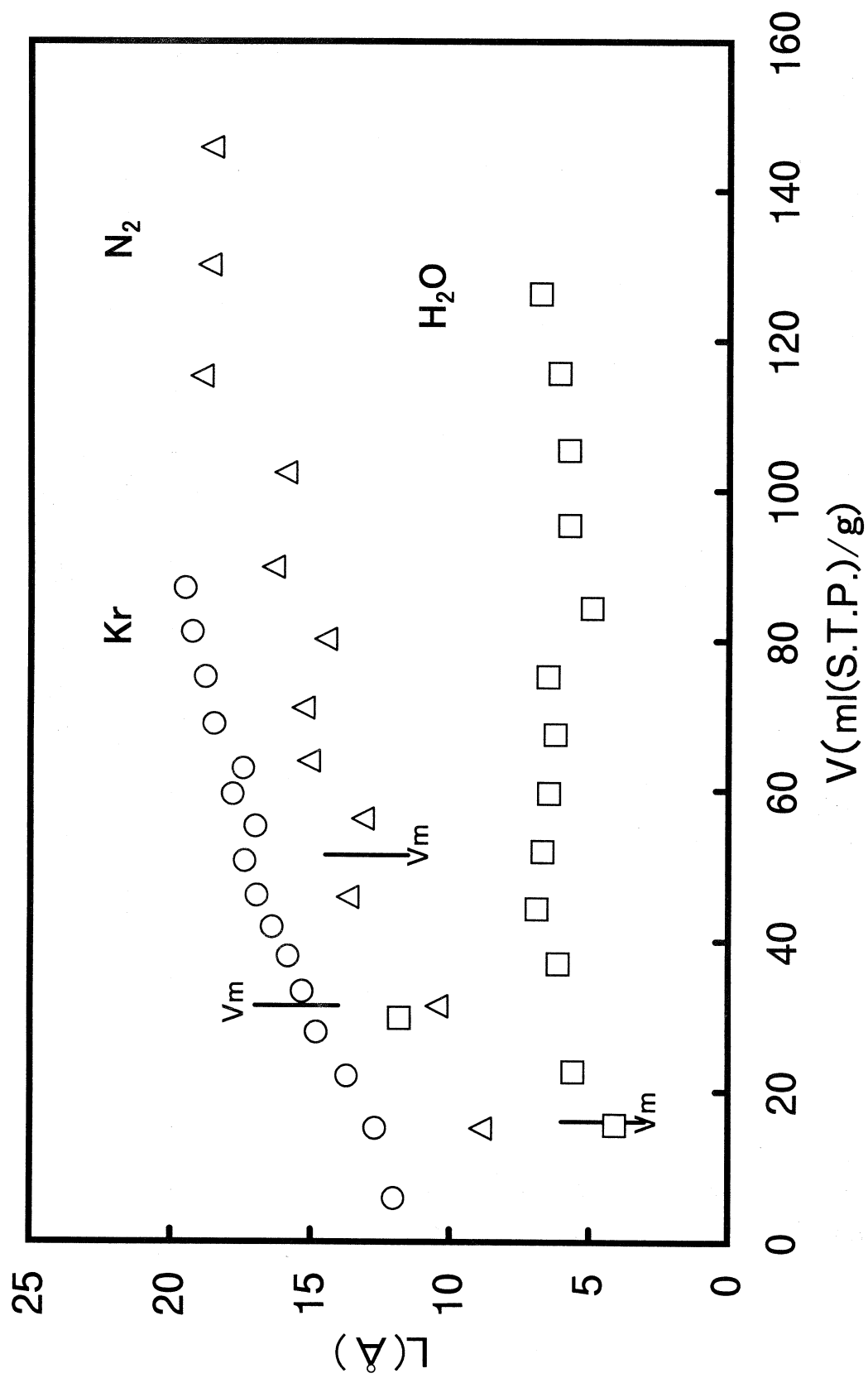


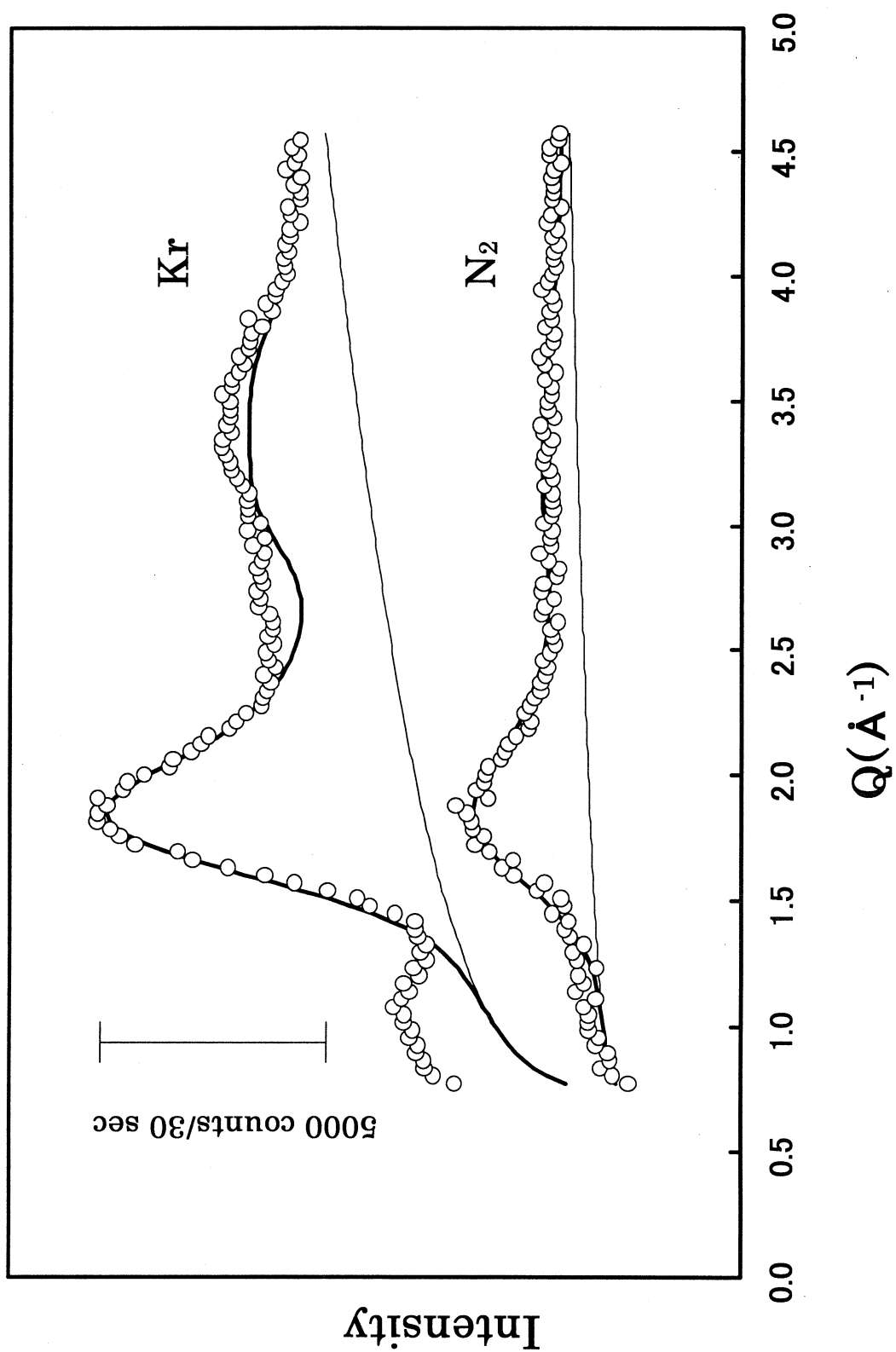


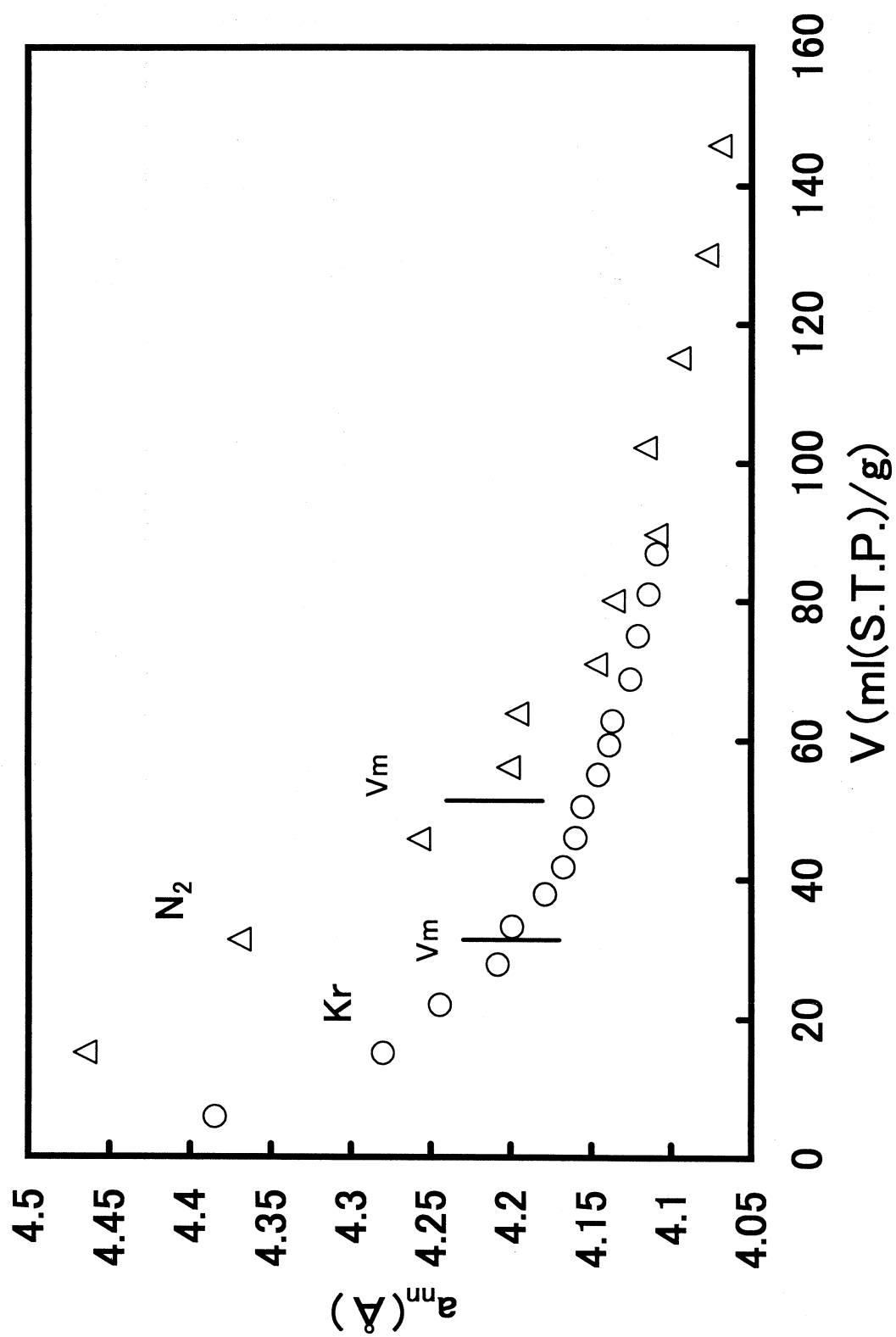


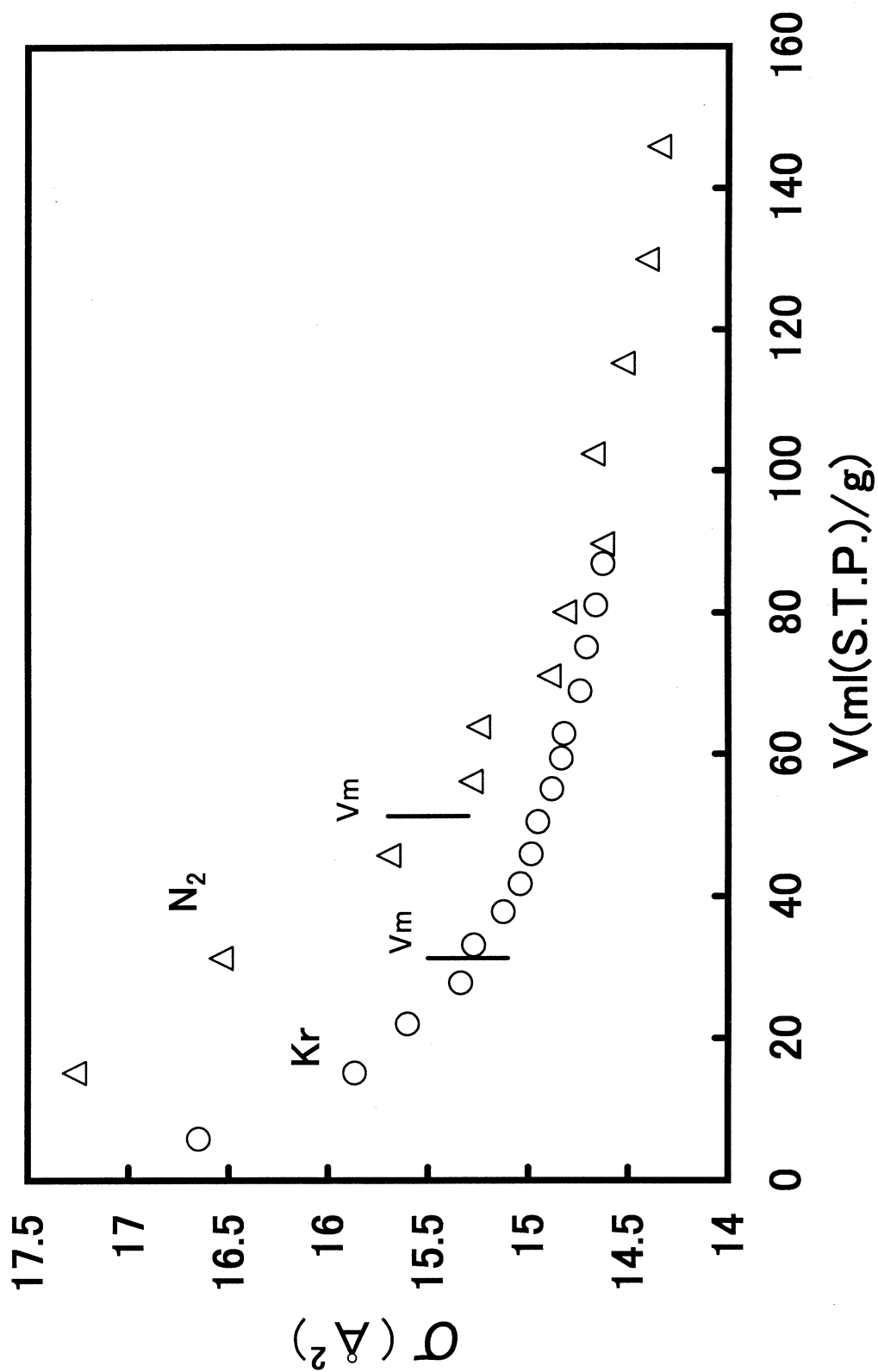












代理制約法における最適代理乗数の決定法

岡山理科大学 工学部 太田垣 博一

岡山理科大学 情報処理センター 岩崎 彰典

1 はじめに

複数の制約条件付の非線形整数計画問題の品質のよい解を得ることは一般に難しい。本研究では、代理乗数を用いて原問題の複数の制約条件を単一の制約条件とした代理問題に変換する解法を提案する。原問題が準凸であるときは複数の制約条件式に乗ずる代理乗数を適当に決定すれば代理問題の最適解は原問題の最適解と一致することが示されている。⁽¹⁾ しかし、離散問題を緩和した代理双対問題の最適解は一般に原問題の最適解に一致せず、代理双対ギャップ (surrogate duality gap) が存在することが多い。この時の解は原問題の目的関数の上限値を与える。この上限値は近似解の品質評価に有用である。本研究では、代理双対ギャップを最小にする意味で最適な代理乗数を決定するアルゴリズムを二つ提案する。さらに、計算機実験によって、この二つのアルゴリズムによる解を比較し、アルゴリズムの有効性を検討する。

2 問題

つぎの非線形整数計画問題を考える。

$$\begin{aligned} [P] \quad & \text{maximize } f(\mathbf{x}) \\ & \text{subject to } g(\mathbf{x}) \leq \mathbf{b} \end{aligned}$$

ここで、 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)^T \in \mathbf{X} \subseteq \mathbf{R}^N$ は N 次元整数値変数ベクトル、 $f(\mathbf{x})$ は整数値

目的関数、 $\mathbf{g}(\mathbf{x}) = (g_1(\mathbf{x}), g_2(\mathbf{x}), \dots, g_M(\mathbf{x}))^T$ は M 次元整数値ベクトル制約関数、 $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_M)^T$ は M 次元整数値ベクトル制約許容量である。この原問題 $[P]$ を代理乗数 \mathbf{u} を用いてつぎの代理問題に変換する。

$$\begin{aligned} [P^S(\mathbf{u})] \quad & \text{maximize } f(\mathbf{x}) \\ & \text{subject to } \psi(\mathbf{u}, \mathbf{x}) \leq \mathbf{b}, \quad \mathbf{x} \in \mathbf{X} \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} \psi(\mathbf{u}, \mathbf{x}) &= \sum_{m=1}^{M-1} u_m \{g_m(\mathbf{x}) - g_M(\mathbf{x})\} + g_M(\mathbf{x}), \\ \mathbf{b} &= \sum_{m=1}^{M-1} u_m \{b_m - b_M\} + b_M, \\ \mathbf{u} &= (u_1, u_2, \dots, u_{M-1})^T \in \mathbf{U}, \\ \mathbf{U} &= \{\mathbf{u} \mid \sum_{m=1}^{M-1} u_m \leq 1, \mathbf{u} > 0\} \subseteq \mathbf{R}^{M-1} \end{aligned}$$

である。

最適化された \mathbf{x} は定数ベクトルである。その結果生じる双対問題は代理乗数 \mathbf{u} の関数となる。原問題 $[P]$ の代理双対問題 $[P^{SD}]$ は

$$[P^{SD}] \quad \min\{\text{opt}[P^S(\mathbf{u})] : \mathbf{u} \in \mathbf{U}\}$$

となる。ただし、 $\text{opt}[P^S(\mathbf{u})]$ は代理問題 $[P^S(\mathbf{u})]$ の最適解である。

3 代理乗数の決定アルゴリズム

3.1 COP アルゴリズム

$k = 1$ から出発する。第 k 番目の多面体 \mathbf{U}^k において \mathbf{u}^k のすべての頂点が単位質量である質点系とみなす。この多面体 \mathbf{U}^k の質点系の重心 \mathbf{u}^k を代理乗数として代理問題 $[P^S(\mathbf{u})]$

の解 \mathbf{x}^k を求める。この \mathbf{x}^k を代理制約式に代入して切断面 $\psi(\mathbf{u}, \mathbf{x}) > b$ が得られる。(2) これによって代理乗数 \mathbf{u} の縮小された多面体 $\mathbf{U}^{k+1} = \mathbf{U} \cap \{\mathbf{u} \in \mathbf{R}^{m-1} : \psi(\mathbf{u}, \mathbf{x}) > b\}$ が得られる。その多面体の重心を \mathbf{u}^k とする。

3.2 Dyer アルゴリズム

$k = 1$ から出発する。第 k 番目の多面体 \mathbf{U}^k において内接する球の半径が最大のものの中心を代理乗数 $\mathbf{u}^k = (u_1^k, u_2^k, \dots, u_M^k)$ とする。(3) この代理乗数を用いた代理問題を解く。代理制約条件式によって多面体を切断縮小する。縮小された多面体の第 j 番目の内接円の半径を d_j とし、その最大値を r^{k+1} とする。

$$r^{k+1} = \max_j \{y \mid d_j(\mathbf{u}^k) \geq y\},$$

$$\sum_{m=1}^M u_m^k = 1, \quad u_m^k > 0, \quad (m = 1, 2, \dots, M)$$

このときの問題をLP問題としてSimplex法を用いて解いて得られた内接円の中心の座標を代理乗数 \mathbf{u}^{k+1} とする。

4 計算機実験と結果

擬似乱数を用いてテスト問題をつぎのよう

$$0 \leq f_n(k) \leq f_n(k+1) \leq 256K_n,$$

$$0 \leq g_{mn}(k) \leq g_{mn}(k+1) \leq 256K_n,$$

$$(k = 1, 2, \dots, K_{n-1}, \quad n = 1, 2, \dots, N)$$

$$b_m = \left\lfloor \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N (g_{mn}(1) + g_{mn}(K_n)), \right\rfloor$$

$$(m = 1, 2, \dots, M)$$

制約条件の個数を3, 5, 8 とし、10問のテスト問題を解いた結果について、代理乗数の更新回数と実行時間との平均を表1. ～ 3. に示す。

表1. 制約条件数 3 の場合

	制約条件数	3				
	変数	10	20	50	80	100
更新回数	COP	8	11.3	13.2	15.2	15.9
	Dyer	8.5	14.6	15.2	17.8	18.4
実行時間	COP	0	0.2	0.8	1.8	2.5
	Dyer	0.1	0.3	0.9	1.7	2.9

表2. 制約条件数 5 の場合

	制約条件数	5				
	変数	10	20	50	80	100
更新回数	COP	17.2	21.7	29	33.8	31.8
	Dyer	17.8	30.3	43.5	42.7	51
実行時間	COP	0.3	0.4	1.6	4	5.1
	Dyer	0.3	0.8	2.6	4.9	8.6

表3. 制約条件数 8 の場合

	制約条件数	8				
	変数	10	20	50	80	100
更新回数	COP	36.5	44.6	58.9	67	65
	Dyer	35.2	59.4	86.6	121	114
実行時間	COP	1.5	2.2	10.8	16.3	23.7
	Dyer	0.6	2.1	9.1	27.7	28.4

文献

- (1) Luenberger, D.G. "Quasi-convex programming", SIAM J. of Applied Math., 16, 1090-1095 (1968)
- (2) 仲川 勇二 疋田 光伯 鎌田 弘 "代理双対問題を解くためのアルゴリズム", 電子通信学会論文誌 Vol.J67-A No.1 53-59 (1984)
- (3) Dyer, M.E. "Calculating surrogate constraints", Mathematical Programming, 19, 255-278 (1980)

変数分離可能な多次元非線形ナップザック問題の解法

岡山理科大学 情報処理センター 岩崎 彰典
岡山理科大学 工学部 太田垣 博一

1 まえがき

多次元非線形ナップザック問題は非線形整数計画と等価であり、組合せ最適化の手法を使って解くため、凸性や微分可能性を持たない非線形整数計画へ適用できる。しかしながら、組合せ最適化ではNP困難性のため大規模な問題は解くことは困難である。従来、一つの制約条件を持つ非線形ナップザック問題に対しては、分枝限定法や動的計画法が開発されてきたが、複数の制約条件をもつ多次元非線形ナップザック問題に対しては分枝限定法や動的計画法は効率的ではない。我々は、代理制約法と遺伝的アルゴリズムを適用しより良い近似解、また場合によっては厳密解を得られるアルゴリズムを提案する。

2 変数分離可能な多次元非線形ナップザック問題

変数分離可能な多次元非線形ナップザック問題はつぎの式で定式化される。

$$\text{maximize } f(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N f_n(x_n) \quad (1)$$

$$\text{subject to } g_m(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N g_{mn}(x_n) \leq b_m, \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (2)$$

$$b_m = \alpha_m \sum_{n=1}^N g_{mn}(x_n), \quad 0 < \alpha_m < 1, \quad (3)$$

$$x_n \in \mathcal{K}_n, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

ここで、変数 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ 、項目集合 $\mathcal{K}_n = \{1, 2, \dots, K_n\}$ 、であり、 $f_n(x_n)$ 、 $g_{mn}(x_n)$ はそれぞれ非負の目的関数である。 b_m は制約許容量であり、 α_m はtightness ratio [1] と呼ばれる。

非線形ナップザック問題はNauss [2] により研究が始まり、Sinha [3] やDyer [4]、仲川 [5] により効率的なアルゴリズムが開発されてきた。しかし、多次元非線形ナップザック問題のように複数の制約条件を持つ問題にそれらの手法を直接適用することはできない。そこで我々は多次元非線形ナップザック問題に代理制約法を適用する。

3 代理制約法 (SD)

代理制約法は Dyer [6] により整数計画問題へ適用された。

岩崎ら [7] は代理制約法を多次元非線形ナップザック問題へ適用した。代理双対問題は次式で与えられる。

$$\min\{\text{opt}[S(\mathbf{u})] : \mathbf{u} \in U\}, \quad (5)$$

ただし, $\text{opt}[S(\mathbf{u})]$ は問題 $S(\mathbf{u})$ の最適な目的関数値,

$$\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_{M-1})^T \in R^{M-1}, \quad (6)$$

$$U = \{\mathbf{u} \in R^{M-1} : \sum_{m=1}^{M-1} u_m \leq 1, \mathbf{u} \geq 0\}, \quad (7)$$

である。ここで, $S(\mathbf{u})$ は代理問題とよばれ次式で与えられる。

$$\text{maximize } f(\mathbf{x}) \quad (8)$$

$$\text{subject to } \varphi(\mathbf{u}, \mathbf{x}) \leq \beta, \quad (9)$$

ただし,

$$\varphi(\mathbf{u}, \mathbf{x}) = \sum_{m=1}^{M-1} u_m \{g_m(\mathbf{x}) - g_M(\mathbf{x})\} + g_M(\mathbf{x}), \quad (10)$$

$$\beta = \sum_{m=1}^{M-1} u_m \{b_m - b_M\} + b_M, \quad (11)$$

である。

代理双対問題の実行可能領域は, 原問題の実行可能領域をすべて含んでいるので, その解は原問題の上界値を与えるが実行可能になるとは限らない。そこで, 何らかの実行可能解を求めるためには近似解法が必要であり, 得られた近似解は上界値と比較することによりその解の品質を評価することができる。

4 遺伝的アルゴリズム (GA)

一次元非線形ナップザック問題ではグリーディ法などの方法が開発されているが, 多次元非線形ナップザック問題ではグリーディ法の初期解が実行不可能となり実行可能解が得られないことがある。

我々は遺伝的アルゴリズムを多次元非線形ナップザック問題へ適用した。遺伝的アルゴリズムは適用可能な問題の範囲が広い手法であり, 近年多次元組合せ最適化問題へ, 遺伝的アルゴリズム [8] やタブーサーチ [9] が応用されているが制約条件が厳しいとき, 生成される解集団のほとんどが実行不可能解となり, 実行可能解が得られてもよい解集団を得ることができないことがある。そこで我々は, 代理双対問題の解と近似解の両方から出発し, 近似解の品質を改善し場合によっては厳密解を得ることができるアルゴリズムを提案する。

5 厳密解の探索と近似解の改善

厳密解の探索と近似解の改善を行うアルゴリズム (MC と略す) を以下に示す。代理双対問題の解を \mathbf{x}^{SD} , 問題の上界値解を f^{UB} , GA による近似解の与える解を \mathbf{x}^{SD} とする。

$$f^{\text{UB}} \leftarrow f(\mathbf{x}^{\text{SD}}); f^{\text{LB}} \leftarrow f(\mathbf{x}^{\text{GA}}); \hat{\beta} \leftarrow \beta(\mathbf{x}^{\text{GA}});$$

Step1 :

$$f^{\text{T}} \leftarrow f^{\text{UB}} - \varepsilon;$$

f^{T} 以上の目的関数値を持つ解を列挙する。;

IF (列挙不可能) **THEN Step2** \leftarrow ;

IF (実行可能解がある) **THEN** 厳密解を出力; **EXIT**;

ELSE $f^{\text{UB}} \leftarrow f^{\text{T}}$;

ENDIF

ENDIF

Step1 \leftarrow ;

Step2 :

$$f^{\text{T}} = f^{\text{LB}} + \varepsilon; \hat{\beta} \leftarrow \hat{\beta} + \delta;$$

$\hat{\beta}$ の制約許容量の条件のもとで f^{T} 以上の目的関数値を持つ解を列挙する。;

IF (列挙可能) **THEN**

IF ($f^{\text{UB}} = f^{\text{LB}}$) 厳密解を出力; **EXIT**;

ELSE $f^{\text{LB}} \leftarrow f(\text{実行可能解}); \hat{\beta} \leftarrow \beta(\text{実行可能解});$

ENDIF

ENDIF

δ と ε を少し小さくして **Step2** \leftarrow ;

6 計算機実験

目的関数値と制約関数値の生成は次のように行った。

$$0 \leq f_n(k_n) \leq 256, \quad (k_n = 1, 2, \dots, K_n, \quad n = 1, 2, \dots, N), \quad (12)$$

$$0 \leq g_{mn}(k_n) \leq 256, \quad (k_n = 1, 2, \dots, K_n, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad m = 1, 2, \dots, M). \quad (13)$$

この問題の計算機実験の結果を表. 1 に示す。

7 まとめ

従来厳密解を見つけることができなかった問題の厳密解を見つけることができた。問題の規模や制約許容量の厳しさによっては厳密解を見つけることは非常に困難であるが、

α_m	GA ^{NEAR}	MC ^{NEAR}	MC ^{EXCT}	MC ^{UB}	SD ^{UB}
0.485	2426013	2435302	-	2435332	2435378
0.490	2430464	-	2436243	-	2436279
0.500	2434039	-	2437346	-	2437360

表 1: 変数 $N = 500$, 項目数 $K = 20$, 制約数 $M = 8$

α_m	GA ^{NEAR}	MC ^{NEAR}	MC ^{EXCT}	MC ^{UB}	SD ^{UB}
0.495	4857042	4877557	-	-	4877634
0.500	-	-	4880260	-	4880281

表 2: 変数 $N = 1000$, 項目数 $K = 20$, 制約数 $M = 8$

それはメモリ量に依存する。今後メモリ量の増大と、効率的なメモリ管理によってかなり実用的な問題が解けるようになると期待できる。

参考文献

- [1] Chu P.C., Breasley J. E., “A Genetic Algorithm for the Multidimensional Knapsack Problem” Journal of Heuristics, 4, pp. 68-86, 1998.
- [2] Nauss R. M., “The 0-1 knapsack problem with multiple choice constraints” European Journal of Operational Research, Vol. 2, pp. 125-131, 1978.
- [3] Sinha P. and Zoltoner A. A., “The multiple-choice knapsack problem” Operations Research, Vol. 27, pp. 503-515, 1979.
- [4] Dyer M. E., Kayal N. and Walker J., “A branch and bound algorithm for solving the multiple-choice knapsack problem” Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 11, pp. 231-249, 1984.
- [5] 仲川勇二, “離散最適化問題のための新解法” 信学論 A, Vol. J78-A, No. 8, pp. 550-556, 1990.
- [6] Dyer M. E., “Calculating surrogate constraints” Mathematical Programming, Vol. 19, pp. 255-278, 1980.
- [7] 岩崎彰典, 太田垣博一, 仲川勇二, 宮下文彬, 成久洋之, “代理制約法の多次元非線形ナップザック問題への適用” 信学論 A, Vol. J78-A, No. 8, pp. 1065-1068, 1995.

- [8] 坂和正敏, 加藤浩介, 柴野俊弘, 宮原伸二, “多次元整数ナップザック問題に対する 3 重構造文字列遺伝的アルゴリズムによる近似解法,” 信学論 A, Vol. J82-A, No.5, pp. 691-697, 1999.
- [9] Løkketnagen A., Glover F., “Solving zero-one mixed integer programming problems using tabu search,” European Journal of Operational Research, Vol. 106, pp. 624-658, 1998.

2.4GHz 帯無線 LAN による キャンパス内「どこでも学習」基盤の構築

大西 荘一 (1) 山本 英二 (1)(2) 市田 義明 (2) 惣臺 聖治 (3)

(1) 岡山理科大学総合情報学部 情報科学科 (2) 岡山理科大学情報処理センタ
(3) NTT 西日本株式会社 岡山支店

1. はじめに

岡山理科大学 TAO プロジェクト「マルチメディア・モデルキャンパス構想」の平成 12 年度研究成果の一部を報告する。平成 12 年度はキャンパス内「どこでも学習」基盤の構築を目指した。転送速度 11Mbps の高速 2.4GHz 帯無線 LAN の性能評価を行い使用に耐えうることを確認した。無線基地局をキャンパス内に 16 箇所設置し、キャンパス内の無線接続可能エリアを確認した。情報科学科 1 年の必修科目である情報処理入門で自作 Web 教材を使用したパソコン実習を伴う遠隔講義を行い、「どこでも学習」が可能であることを実証した。遠隔講義に対する受講学生の評価は良好であった。

2. 「キャンパス内どこでも学習」の効果

(1) パソコンは参考図書

図書の貸し出しと同じ感覚で無線 LAN 付きノートパソコンや無線 LAN PC カードを学生に貸し出す。学習教材は図書のみではなく、インターネットの世界には膨大な情報がある。インターネットは情報収集の重要な手段となっている。「どこでも学習」の基盤が整備されれば、学生はキャンパス内の学生食堂や屋外などの好みの場所でインターネットに接続し、学内に設置している教材サーバや学外サーバの情報を取得できる。自由度の高い場所でグループでインターネットを使用し、議論しながら学習を進めることもできる。

(2) 遠隔講義

VOD による非同期双方向遠隔教育で「学内どこでも予習復習」が可能になる。同期双方向遠隔教育で「学内どこでも受講」が可能となり、無理な教室移動をする必要がなくなり、バリアーフリーキャンパスが実現できる。

3. 高速 2.4GHz 帯無線 LAN の性能評価 [1]

「キャンパス内どこでも学習」を実現するには、LAN ケーブルを引き回すのは無理であり、無線 LAN の導入を検討した。転送速度 11Mbps の高速 2.4GHz 帯無線 LAN は 1999 年 11 月に IEEE802.11b として規格化され、対応した製品は国内では 2000 年春頃より多く出始めたが、実使用実績はまだ乏しい。教育関係での本格的な利用は希少であると思われる。

今回、座席数 134 名の教室（教室名：10242）で転送実験を行い下記の評価を行った。
無線 LAN 基地局は教室前面に 1 箇所設置した。図 1 は実験接続図である。

(1) クライアント数—FTP 転送速度

教材サーバ Pro1600 から 10MB のファイルを FTP でダウンロードし、転送時間を計測した。経路に Sniffer を接続し帯域を監視した。図 2 はクライアント数と FTP 転送速度 (Mbps) の関係グラフである。図 2 より転送速度はクライアント数にほぼ反比例しており理論どおりである。

回帰分析結果を次に示す.

相関係数=0.99 回帰式 $y = 4.57x^{-0.95}$ (Mbps) x : クライアント数

100 人が同時に使用した場合, FTP で約 45Kbps である. 静止的な Web 教材は問題なく使用できる. ストリーミングの動画像の利用も可能である.

(2) 電波ノイズによる影響

テレビ, 電子レンジ, 携帯電話による影響はみられなかった.

(3) 電波指向性

今回使用した座席数 134 人規模の教室での電波指向性は問題ない.

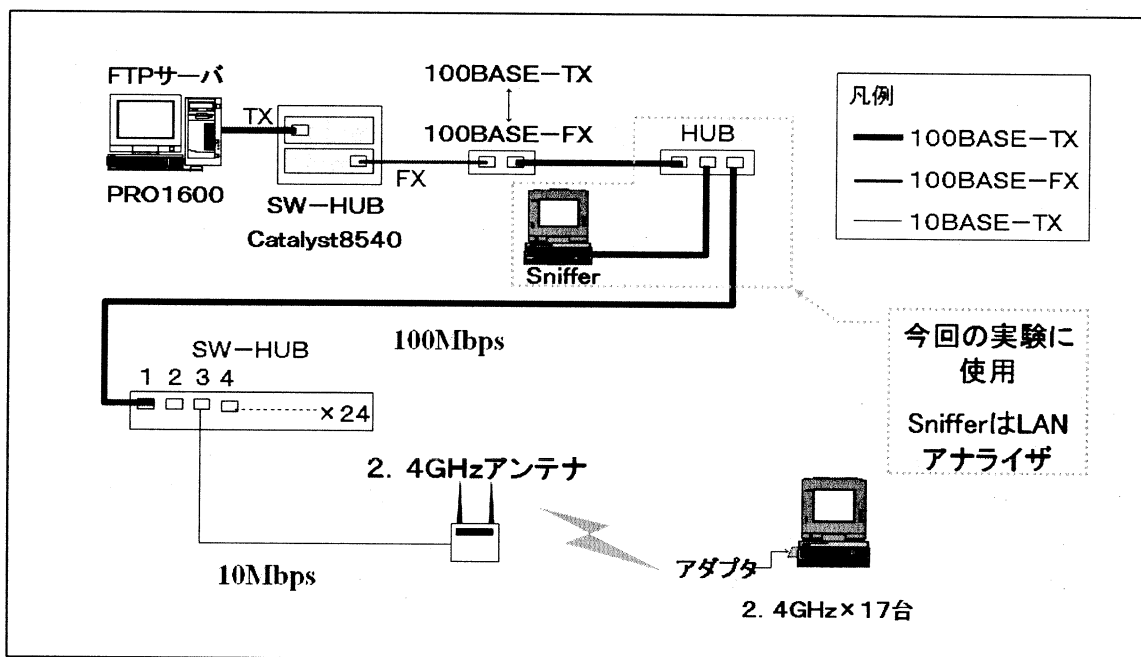


図1 転送速度実験接続図

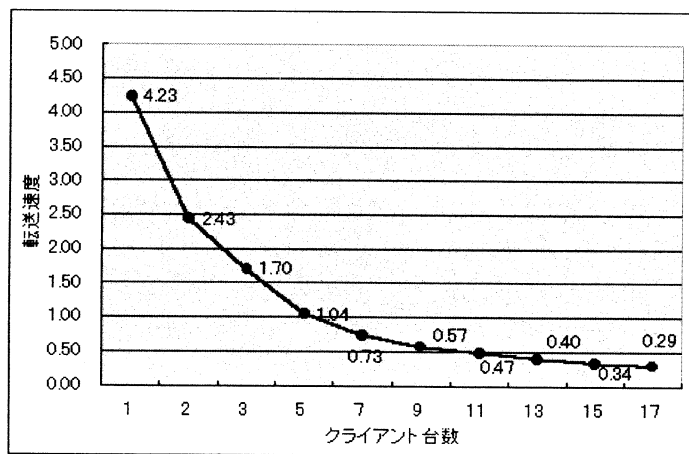


図2 クライアント数—FTP 転送速度

4. 高速 2.4GHz 帯無線 LAN 接続エリアマップ [2]

教育利用に高速 2.4GHz 帯無線 LAN は使用可能であることを確認した.

「キャンパス内どこでも学習」の実現のためキャンパス内の16個所に高速2.4GHz帯無線LANの基地局を設置した。図3は屋外用基地局である。基地局の設置場所を図4に示す。図4中の黒点が設置した無線基地局の位置である。これらの基地局の接続可能エリアの確認実験をし、キャンパス内接続エリアマップを作成した。接続可能エリアの確認は図5に示すようにRealVideo動画像ストリームを受信しながらキャンパス内を移動し、受信エラーになった地点を受信可能限界点として境界をもとめた。

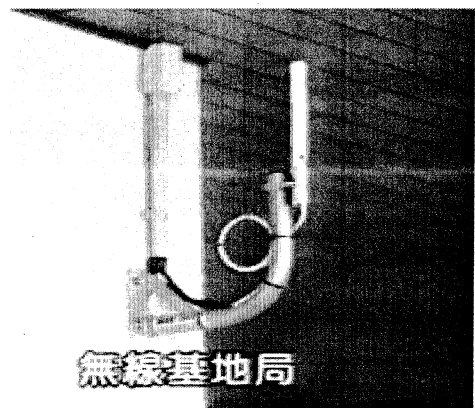


図3 屋外無線基地局（OHK 放映画像）

接続可能エリアは十分な範囲であることを確認できた。表1は無線LAN使用のキャンパス内お勧めポイントである。

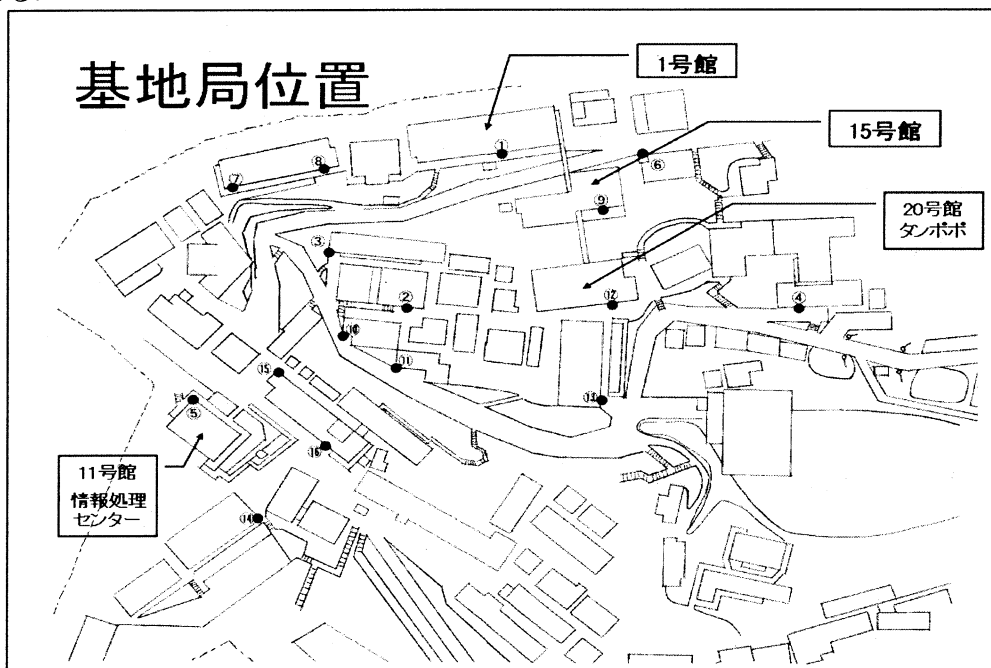


図4 キャンパス内無線基地局（図中の黒点）

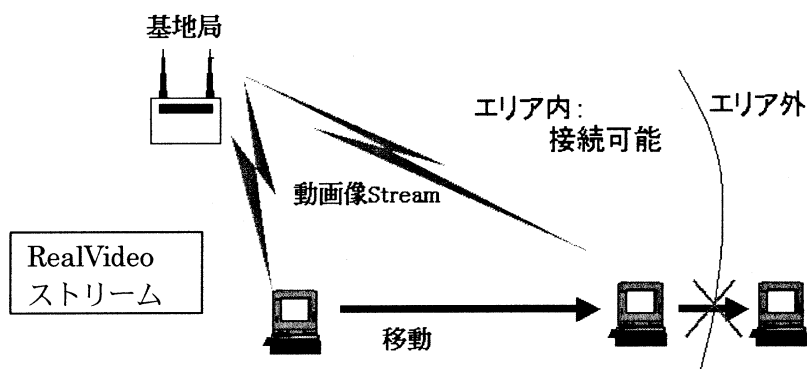


図5 接続可能エリア確認実験

表1 キャンパス内お薦めポイント (○印はyes)

→条件 ↓場所	室内?	机、いす あるの?	喫煙OK ?	飲食OK ?	備考(その他)
20号館食堂	○	○	×	○	座席多し、メニューたくさん 一番のおすすめ!!
20号館まわり	×	○(ベンチ)	○	○	タンポポ近し! 自販機も!
21号館前	○	○(ベンチ)	○	○	タンポポ、図書館近し!
15号館食堂	○	○	○	○	タバコ嫌いな人は不向き
15号館食堂外 (すぐ横)	×	○	○	○	外でもいい人は、ここいいかも。外でご 飯が食べれるし
4号館食堂	○	○	○	○	結構穴場!? 場所みんな知ってる?
コンビニ内	○	○	×	○	ちょー便利! 音楽つき!
コンビニ外	×	○(ベンチ)	○	○	外だけどコンビニあるから○
一学舎と9号館と時 計台の間	×	×	○	○	座る所が地べた...。コンビニに近いから いいかな!?
11号館入り口付近	×	○(ベンチ)	○	○	図書館、コンビニ、食堂近し 階段上るのがちょっと...
六学舎ベンチ	×	○(ベンチ)	○	○	食堂、コンビニ近し! しかし人目につく!?

5. 同期双方向遠隔講義

「キャンパス内どこでも学習」の実証のため、高速 2.4GHz 帯無線 LAN を利用して情報科学科1年次開講「情報処理入門」の遠隔講義を行った。講義内容はパソコン実習を伴う HTML の講義である。

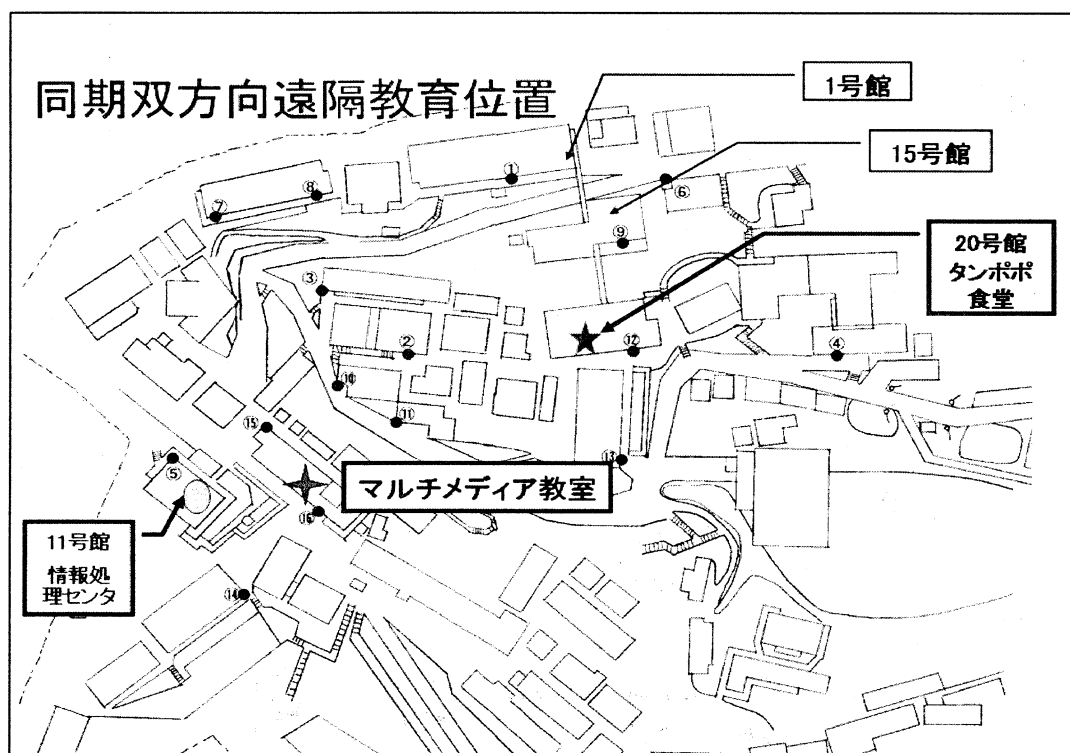


図6 同期双方向遠隔講義の関係場所

実習を伴う HTML の講義はマルチメディア教室 (1学舎4階) で行い、一部の受講生は食堂 (20号

館1階)で受講した。受講生の希望により遠隔地として食堂を選んだ。図6は関係施設の位置を示す。マルチメディア教室と遠隔地の食堂を同じ教育環境にすることが理想である。パソコン実習の場合、講師のパソコン画面を教室のスクリーンに投影し、受講生はそのスクリーンを見ながら講師の説明を受け自分のパソコンを操作する。従って、食堂にもスクリーンが必要であるが常設は無理なので、ノートパソコン1台をスクリーン用にした。

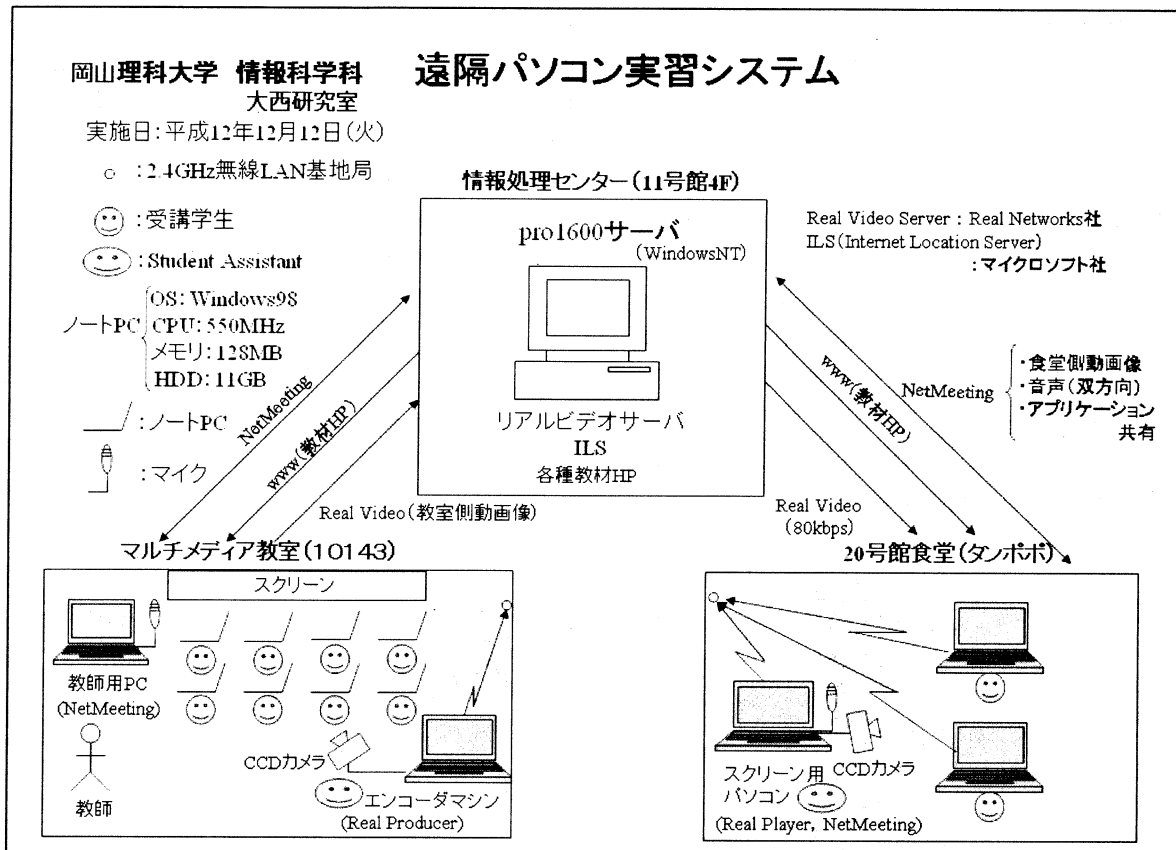


図7 同期双方向遠隔講義システム

図7は今回行った同期双方向遠隔パソコン実習のシステムである。



図8 スクリーン用 PC の画面 (OHK 放映画像)

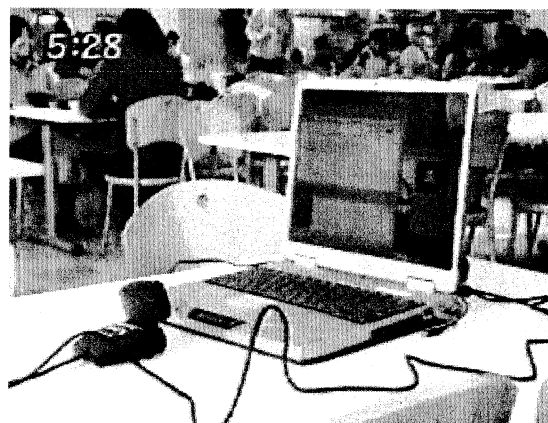


図9 スクリーン用 PC (OHK 放映画像)

(1) 使用ソフトウェア

教材サーバ: WindowsNT4.0+IIS, (RealNetworks 社)RealVideo サーバ
(マイクロソフト社) NetMeeting ILS, 自作 HTML Web 教材「極め」[3]

教師用 PC : (マイクロソフト社) Windows98 , NetMeeting , Internet Explorer

エンコーダ PC : Windows98 , (RealNetworks 社) RealProducer

スクリーン用 PC : Windows98 , (RealNetworks 社) RealPlayer , NetMeeting

学生用 PC : Windows98 , (マイクロソフト社) Internet Explorer

(2) 講義方法

エンコーダ PC はマルチメディア教室を撮影し、画像データを RealVideo サーバ (pro1600) に送る。RealVideo サーバは食堂のスクリーン用 PC に配信し、教室の動画像を食堂に伝える。これにより教室と遠隔地 (食堂) の一体化をはかる。

NetMeeting は講師と遠隔地 (食堂) の学生との動画像・音声を双方向で通信する。動画像の遅れは 1 秒程度であり、同期双方向が可能である。アプリケーションの共有機能により講師用 PC のブラウザをスクリーン用 PC が共有することにより、HTML 教材「極め」を共有する。

教師用 PC には HTML の Web 教材「極め」と NetMeeting による食堂の動画像が表示され、PC プロジェクタにより教室のスクリーンに投影される。スクリーン用 PC には NetMeeting で共有された Web 教材「極め」と講師の動画像及びマルチメディア教室の RealVideo 動画像が表示される。外部マイクを使用することにより音声も良く通り遠隔講義はスムーズに進行した。

RealVideo の音声・動画像配信は 15 秒程度の遅れがあり、同期双方向には適さない。今回は補助的に使用した。図 10 は食堂で遠隔講義を受講している様子である。



図 10 遠隔講義受講の様子 (OHK 放映画像)

(3) 受講生の評価

図 11 は同期双方向遠隔講義に対する受講生 32 名の直感的な評価である。

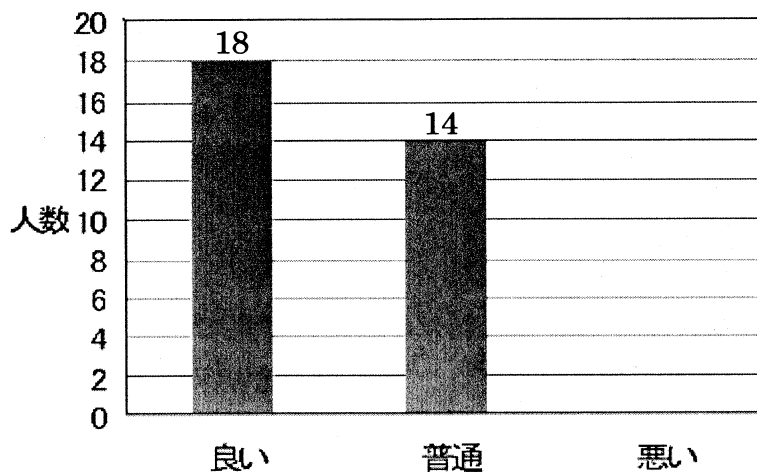


図 11 受講生の直感的評価

<受講生の感想>

- ・教室移動にかかるムダな時間がはぶけて良い
- ・友達と一緒に飲食しながら受講でき、気が軽くなって良い
- ・近くに先生や友達がいないと、質問や相談がしにくい
- ・周りの私語を考えると、講義の際にイヤホンやヘッドホンが必要だと思う

「気が軽くなって良い」という感想から、卒にとらわれずに新鮮で創造力豊かに受講できることが期待される。考慮すべき点はあるが、同期双方向遠隔講義は技術的に十分に可能であることが実証された。また教育的にも教室内とは異なった学習効果が期待できると思われる。

(4) 同期双方向遠隔講義システムに要求される基本機能

特に実習を伴う同期双方向遠隔講義の場合、システムに求められる基本機能として、

- ・双方向の音声、動画像通信をサポートしていること
- ・音声、動画像配信の遅延が小さいこと（遅延時間は2秒以内）
- ・アプリケーションの共有機能をサポートしていること

が必須であることが確認できた。

今回の同期双方向遠隔講義は平成13年1月5日にOHK（岡山放送）で放映された。

6. 今後の課題

高速2.4GHz帯無線LANにより「キャンパス内どこでも学習」の基盤はできた。その基盤を有効活用するには、

- ・学生に無線LAN PCカードあるいは無線LAN付ノートPCの貸し出し
- ・教材サーバ・VODサーバに、教材コンテンツの作り込み
- ・マルチメディア教材開発スタジオの設置
- ・無線LANと既存学内ネットワーク接続の考慮
- ・遠隔教育については、NetMeetingの音声動画像通信が1対1であるため、1対多の遠隔講義ができない。1対多が可能なソフトウェアの導入

これらを推進しなければならない。

今後、岡山ギガビットネットワーク・岡山県情報ハイウェイ・岡山市地域情報水道のネットワークと接続し、大学、高校、一般市民などの学外と連携した遠隔教育の仕組みを検討する。

<謝辞>

本研究は通信・放送機構（TAO）の研究助成を受けて行いました。無線LANの転送速度実験で協力を得た情報科学科の北川、劉、榊原の各先生と各ゼミ生、大西ゼミのゼミ生、また実験とデータ整理に協力してくれた大西ゼミ生の武田洋佑、後藤賢治、前田十利、米澤勇人の諸君に感謝します。本論文中の図3、8、9、10は岡山放送株式会社（OHK）で放映された画像です。掲載を許可された岡山放送株式会社に感謝します。

参考文献

- [1] 大西、山本、惣臺「2.4GHz帯無線LAN利用の遠隔教育」
2001年電子情報通信学会総合大会講演論文集（教育工学）2001.3 D-15-44
- [2] 大西、市田、山本「無線LANによるキャンパス内‘どこでも学習’基盤の構築」
第9回情報教育法研究発表会予稿集 2001.7 pp22~23
- [3] 大西研究室ホームページ <http://mascot.mis.ous.ac.jp/>