

130 屋外における空港騒音の自動監視と音源の同定

Automatic Outdoor Monitoring of Airport Noise and Sound-Source Identification

○山田一郎 (空整協 航空環境研究センター)・篠原直明 (新東京国際空港振興協会)

Ichiro YAMADA, Research Center, Airport Environment Improvement Foundation

K5 Bldg. 1-6-5 Haneda Kuhkou, Ohta-ku, Tokyo 144-0041, Japan

Naoaki SHINOHARA, New Tokyo Int'l Airport Promotion Foundation

This paper describes the system configuration of unattended devices to monitor outdoor situation of aircraft noise around airports. It also describes signal-processing techniques to identify sound sources of noise events by illustrating some recent development. First, it briefly reviews the history of airport noise last 40 years. Next, it explains the purpose and details of unattended outdoor monitoring of aircraft noise. Finally, it talks about an acoustical method of sound source identification by detecting sound arrival direction using a cross-correlation technique.

Key Words: airport noise, automatic noise monitoring, source identification, correlation method

1. はじめに

航空機騒音の環境対策は、1973年に告示された「航空機騒音に係る環境基準」に基づいて進められてきた。告示後10年を目途に達成の目標が定められ、実現に向けて発生源対策や周辺対策が行われた。その結果、空港周辺の環境は大いに改善され、家屋等の防音工事実施率も95%を越えている。しかし、屋外環境基準を満たす目標が全ての空港で達成された訳ではなく、近年では運航回数の増大に伴って騒音状況も横這い状態になっている。そのため環境白書は今でも航空機騒音について環境基準の達成に向けて発生源対策および周辺対策を強力に推進すると書いている。

一方、基準の告示後27年の歳月を経て経済や科学技術の水準、生活様式が大きく変化し、航空交通は誰もが当たり前に利用する交通手段となり、人の見方も様変わりした。環境基本法にも「環境基準とは健康を保護し、生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準であり、常に適切な科学的判断が加えられ、必要な改定が行わなければならない」と書いてある。人も社会も激しく変化する現在、航空機騒音問題についても新たな視点に立って評価手法や対処の枠組みを吟味し直す必要がある。

2. わが国の航空機騒音問題の現状

わが国の過去40年の航空機騒音問題を概観する[1-3]。

1960年以前：戦後の経済停滞から奇跡的に復興し目覚ましい成長を遂げたが、環境への配慮が足りず多くの問題を引き起こした。騒音についても基地周辺住民が戦闘機の訓練に伴う激しい騒音に曝されて社会問題となり、1955年にはC特性音圧レベルの測定に基づいて学校や病院の防音工事が行われている。

1960～1980年：高度経済成長期で高速道路や高速鉄道が次々と建設され、民間航空にジェット旅客機が導入された。生活の質も向上したが負の産物として大気や水質の汚染を起し多数の訴訟が起きた。こうした事態に対処するため、1960年代後半～1970年代にかけて公害対策基本法(1967年)を始めとする多数の法規制が整備された。航空機騒音については1967年に制定された「公共用飛行場周辺における航空機騒音による障害の防止等に関する法律」と1973年に告示された航空機騒音に係る環境基準が周辺対策の基本、1975年の航空法改正による騒音基準適合証明制度制定が

発生源対策の基本となり、環境改善の原動力となった。

1980～1990年：環境基準達成に向けて種々の発生源対策や周辺対策が実施された。滑走路の移転や防音堤等の整備、空港新設にも取り組まれた。大阪空港の騒音問題を解決し増大する関西地区の航空需要に対応するため1968年から関西国際空港建設に向けて検討が進められ、1980年に最終計画がまとめられ1987年に建設が始まった。羽田空港でも1977年の都知事の要請で沖合への展開事業が計画され、1984年に建設が始まっている。

1990～2000年：1993年、公害対策基本法に代わり環境基本法が制定された。環境保護の手段として経済的手法を取ることが取り入れられている。1991～1993年に掛けて成田空港問題の解決に向けて討議するシンポジウムが開かれた。1995年から共生委員会に引き継がれ、空港と地域の共生を目指して現在も審議が続けられている。関西では1994年に関西国際空港が開港し、伊丹空港は国内中心の空港として再出発した。羽田の沖合い展開事業も最終段階となった。

今後：騒音証明によって発生源対策が進み1960年代から30年ほどの間に騒音レベルは20dB下がった。来年からは国内を飛行する航空機は新基準適合機(Chapter-3)のみとなる。今年1月のICAO/CAEP会議で一層厳しい次の基準Chapter-4が決まったが、発生源対策の飛躍的進展は難しい。しかし、今後の問題はむしろ運航便数増大による騒音暴露増大であり空港周辺の土地利用を制御するとともに騒音の状況が悪化しないよう監視を強化することが重要である。

3. 航空機騒音の自動監視

航空機騒音の自動監視は、空港周辺における騒音状況の推移を把握したり騒音予測コンターや対策区域の妥当性を検証したりするために行う。監視点の数や配置は、監視の目的に鑑み、空港の運用状況や住居地域の分布を考慮して決める。監視装置を置く場所を決める際は、地域の航空機騒音の状況を代表できるところとし、暗騒音や飛行経路について調べ、電源や通信手段の供給、保守等の利便性にも配慮する。無人で稼動するため装置の安全も重要である。マイクロホンは、平坦な地面や建物の屋上に支柱を立て、設置面から4m程度の高さに取り付ける。なお、6m又は10mにするべきだという考え方もあり、自動監視に関する国際規格の案の審議を通じて現在も議論されているところである。

屋外の環境音は暗騒音となり航空機騒音の測定を妨げる。そのため、自動監視では時々刻々暗騒音レベルを適応的に推定する必要がある。通常5～10分間の時間率騒音レベル L_x , $x=90$ or 95% を推定して単発騒音を検出する閾値として用いることが多い。騒音レベルが閾値を超える区間の最大騒音レベル（閾値より10 dB以上大きい時）を航空機騒音等による単発騒音と判別し記録するというものである。

4. 音響的な手法による音源の同定

航空機騒音の評価には通年にわたる自動監視が不可欠である。しかし、航空機の飛行に伴う騒音以外の単発騒音も観測され、背景騒音も時間的に変動するため、音源を識別・同定する機能が不可欠である。上述のように騒音レベルのパターンを見て閾値判定によって騒音のピークを見つけ、音が一定時間以上継続するかどうか判別すれば単発騒音を検出することはできるが、車両走行や拡声放送、虫の音等、様々な原因による単発騒音が混じって観測されるために、航空機騒音を識別する手段として十分とは言えない。航空管制の運航情報やレーダー電波の電界強度の変化から監視点付近への航空機の飛来を判断する方法等もあるが、観測される騒音との一対一の対応が保証される訳ではない。そこで、時々刻々観測される騒音の到来方向の変化を検出して航空機騒音を識別する方法を考えた⁴⁾。最初是一对のマイクロホンを上下に配置して騒音の到来時間の差を相互相関法で検出し、上空から音が来る場合に航空機の騒音と判別する手法を開発した。この方法は概ね有効に働くが、航空機以外の音が上方から来ることもあり、万全ではない。そこで手法を拡張して互いに直交する3組のマイクロホン対を用いて騒音を同時観測し、音の到来方向の変化を時々刻々追尾する手法を考案した。その考え方を述べる。

Fig.1 において観測点 O を中心とする単位球を考える。3組のマイクロホン対は O を中心に x , y , z の各方向に等間隔に置く (z ; 鉛直方向)。この時、遠方から到来する音の到来方向は単位球面上の点と一対一に対応し、方位角 ϕ と俯角 φ (又は $\theta = \pi/2 - \varphi$) を持つ単位ベクトル $\vec{V}$ で表され、各対への音の到来時間差を τ_x , τ_y , τ_z とすると音速やマイクロホン間隔に依らず、次式により求められる。

$$\tan(\phi) = \frac{\tau_y}{\tau_x}, \quad \tan(\varphi) = \frac{[\tau_x^2 + \tau_y^2]^{1/2}}{\tau_z}$$

到来時間差はマイクロホン対の相互相関関数又はクロス

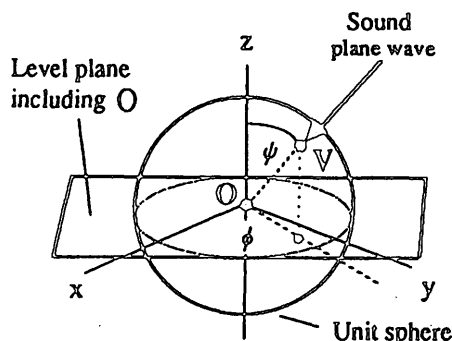


Fig.1 Schematic diagram showing the principle of a new method, in which a sound arrival direction is determined as a point V on the unit sphere located at the center O of microphones of an unattended monitoring device.

スペクトルから推定できる（筆者らは前者を用いている）。さて、音源が三次元的に移動すると単位ベクトル $\vec{V}$ も単位球面上を動く。その軌跡は、音源が飛行する航空機ならば上半球面上にあり、地上を走る自動車なら概ね水平線上の所定の範囲にある (O が地面付近の時)。静止する音源であれば点となる。すなわち音の到来方向の軌跡から音源を同定することができる。

次に軌跡による音源分類を自動処理するため、音の到来方向ベクトル $\vec{V}$ の集合を法線ベクトルで代表させる。直線的に音源が移動するとすれば、Fig.2 に示すように、直線と O を含む平面と単位球の交わりは大圏コースとなるため、次の法線ベクトルと対をなす。 $\vec{V}_S$, $\vec{V}_E$ は2時点での音の到来方向ベクトルである。

$$\vec{N} = \frac{\vec{V}_S \times \vec{V}_E}{|\vec{V}_S \times \vec{V}_E|}$$

方向推定に誤差が含まれること等を考え、実際は所定の時間間隔 $\bar{t}$ で法線ベクトルを算出する処理を繰り返し行い、その結果を平均化することになる。Fig.3 は飛行騒音により間隔を変えて法線ベクトルのばらつき具合を調べた事例であり、2.5s 間隔で算定すると比較的最ままりが良かった。法線ベクトルのまとまりがよければ平均しても単位球面に近い位置に止まるが、直線移動の仮定が成立しない場合や複数音源から音が来る場合は絶対値が小さくなる。最後にある空港の近辺に自動監視装置を置いて夏から冬に掛けて実験した結果を Fig.4 に示す。(a) は音の到来方向、(b) は法線ベクトル、(c) は平均法線ベクトルによる音源分類結果である。なお、Fig.3 及び Fig.4 においては、半径の異なる同心円が30度毎の仰角を示し、一番外側が水平面である。円周方向には方位角を示してあり、上が北、下が南である。

5. 地上騒音の自動監視

エンジン試運転等に代表される空港内地上騒音も特に深夜時間帯に行われるものは空港周辺からの苦情の対象となる。これらは騒音の発生場所が広範囲にまたがり発生が不規則であり、地面に沿って伝搬するのでレベルも大きく変動し、音源の特定は容易ではない。ここでは、こうした空港内地上騒音の自動監視への音の到来方向に基づく音源同定技術の応用事例を示す。

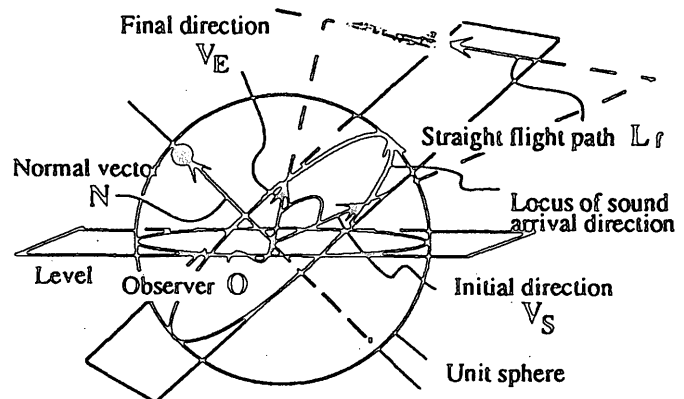


Fig.2 The principle of transforming a locus (a great circle route) of sound arrival direction to a normal vector.

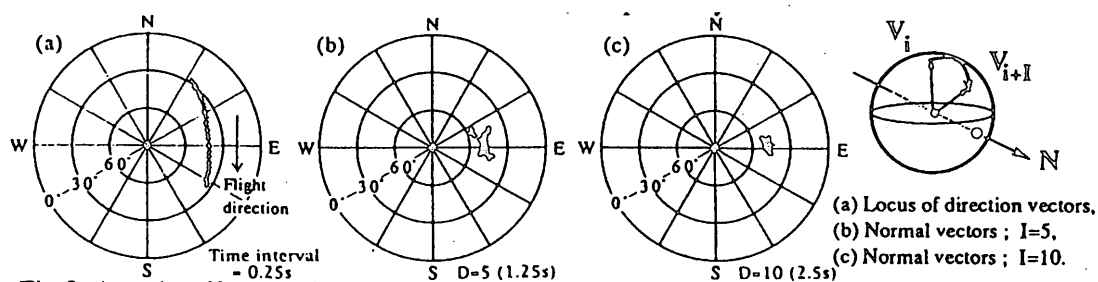


Fig.3 A trade-off study checking the effect of time interval in translating a series of direction vectors to a normal vector ; + means a point in the upper and O in the lower hemisphere.

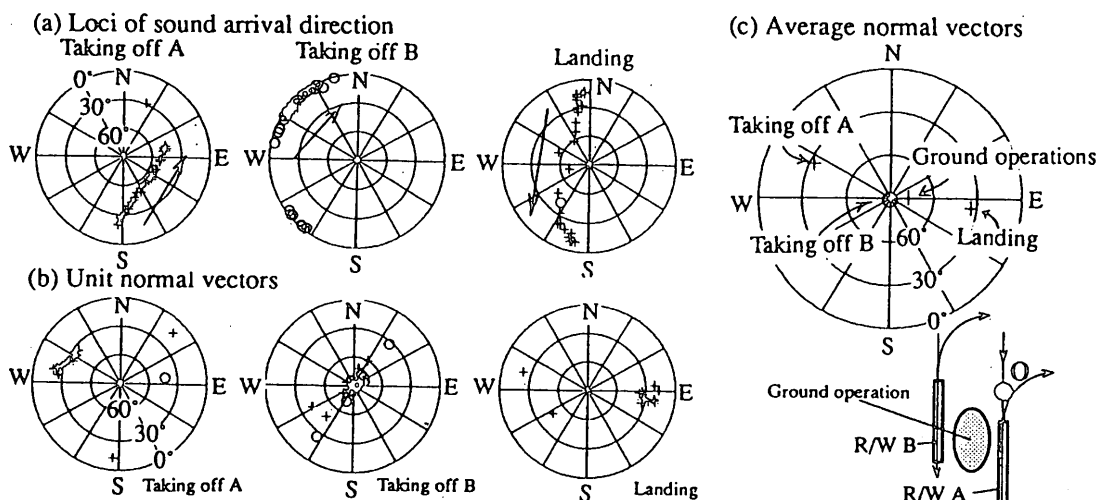


Fig.4 Results of estimation on loci of sound arrival direction, unit normal vectors and their average for three categories of aircraft fly-over noise observed near a runway end.

新東京国際空港公団は空港内地上騒音を自動監視する営業騒音監視システムを設置し、平成12年4月から運用を開始した。監視の対象は実機状態で行うエンジン試運転の騒音や航空機を牽引する（towing）際の騒音及び駐機時に使用する補助動力源（APU）の稼動騒音等で、飛行騒音と区別する意味で営業騒音と呼んでいる。これら空港内での作業は暗騒音の低い深夜も実施され、長時間継続する。

システムは、概要は別の発表^{6,7)}で紹介されるので省くが、中央処理装置と8つの監視局 $N_1 \sim N_8$ から成る。 N_1 と N_2 は空港内の音源監視の役割を、敷地境界の N_3 と N_4 は空港外へと伝わる騒音の監視、 $N_5 \sim N_8$ は周辺地域での騒音暴露の状況を監視する役割を担っている。各監視局の装置は1s毎に等価騒音レベル $L_{Aeq,1s}$ と音の到来方向を測定するとともに、単発騒音についてエンジン試運転等の営業騒音による継続時間の長い「間欠騒音」と離着陸騒音などの継続時間の短い「騒音ピーク」を自動検出し、最大騒音レベル L_{ASmax} や単発騒音暴露レベル L_{AE} を求め、音源を同定する機能を持つ。

Fig.5及びFig.6にこの装置によって測定した営業騒音の観測例を示す。まず、Fig.5は空港の敷地境界にある N_4 と空港内の N_1 及び N_2 での同時観測結果を示したものである。各々上から順に $L_{Aeq,1s}$ と音の到来方向（方位角と仰角）の時間経過を描いてある。方位角は矢印で示してあり、上が北、下が南である。仰角はマイクロホンの高さより上が+、下が-である。(a)図の N_1 マイクロホンはエンジン試運転施設の脇に置いてあり、エンジン試運転による間欠騒音と判別された区間内の音の方位角はその方向を指している。仰角は、マイクロホンが地上20mの高さにあるため、負の値になっている。 N_4 の方には離陸騒音も観測されている。図では見にくいですが離陸音の到来方向は音源の移動につれて

動いている。一方、(b)図は(a)とは異なる時間帯の N_2 と N_4 の観測例であり、APUと航空機牽引の騒音が記録されている。なお、この図だけでは分からないが、全ての監視局での観測結果を総合すると音源位置を特定することが可能である。APUは広いエプロンの全域において行われるが、深夜はAPUを稼動することが禁止されている場所があり、音源の位置を特定できることはその有用な情報となる。

最後に、Fig.6は N_4 監視局で観測された騒音の到来方向分布を示したものである。(a)図は暗騒音を含めた全ての騒音についての方向分布であり、(b)図は営業騒音として同定された騒音区間のみでの到来方向分布である。前者は離陸騒音が聞こえる方向が最頻値になっているのに対し、後者はエンジン試運転とAPUを稼動するエプロン方向が最頻値になっている。

5. おわりに

わが国の航空機騒音問題の経緯について振り返り、次に騒音の自動監視及び音響的な手法による音源同定の技術について述べた。最後にその地上騒音監視への応用について紹介した。一昨年、一般環境基準が改正され等価騒音レベルにより基準が定められた。航空機騒音に係る環境基準については今のところには改定される可能性はないが、諸外国の趨勢は等価騒音レベルでの評価になっており、いずれわが国も同様の基準に改められるものと思われる。世はまさに日進月歩、人も社会も立ち止まることなく変化している。身体にフィットしていた洋服も長い年月が経てば古くなり身体に合わなくなる。リフォームをするか、新調するか、21世紀の激動する社会情勢や時代変化に適応できるよう騒音問題に対して新たな視点からの対処の枠組みや手法を吟味し直すことが重要である。

参考文献

- [1] I. Yamada, Issues of aircraft noise in Japan early in the 21st century, inter-noise 2000, August 2000.
- [2] I. Yamada, New phases of airport noise Management coping with growing demand of air traffic in JAPAN, inter-noise 98, November 1998.
- [3] I. Yamada, Noise Criteria in JAPAN, inter-noise 96, July 1996.
- [4] I. Yamada et al., Recent works on acoustical source identification for unattended monitoring of aircraft noise, 15-th ICA, June 1995.
- [5] T. Ohshima & I. Yamada, Source classification of environmental noise using short-term LAeq and sound arrival direction, inter-noise 99, December 1999.
- [6] 篠原他、航空機騒音の予測における地面の過剰減衰と気象の影響、音響学会講演論文集、2001年3月。
- [7] 齊藤、尾形、空港内地上騒音の自動監視と音源同定、音響学会講演論文集、2001年3月。

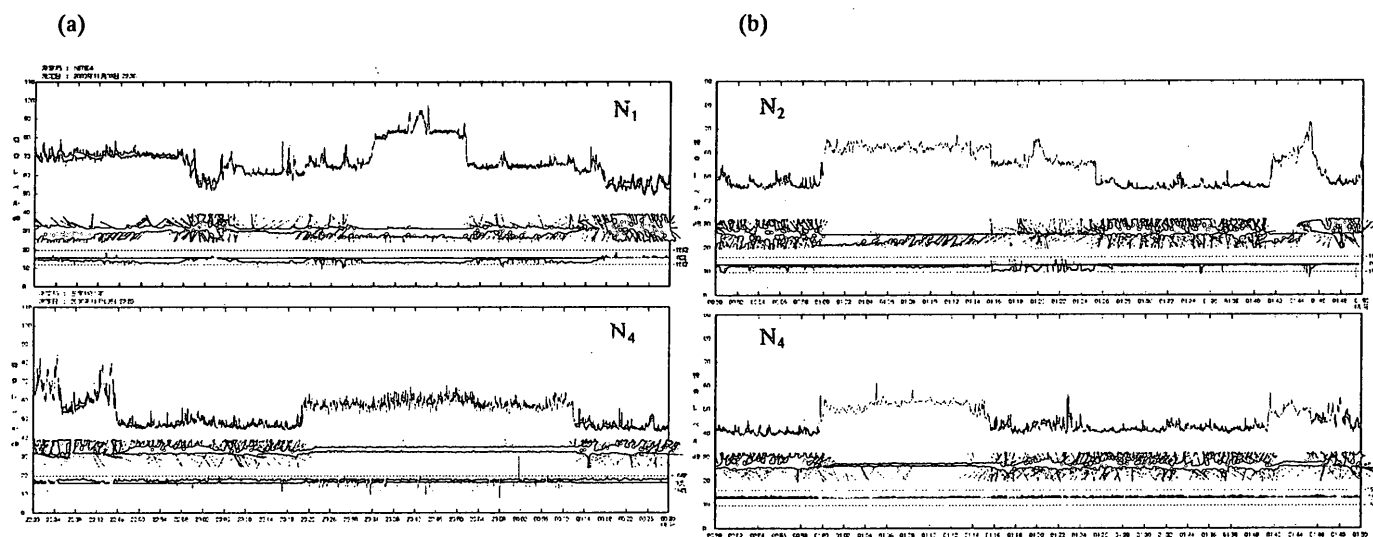


Fig.5 Examples of temporal changes of observed sound levels with sound arrival directions: (a) noise events due to aircraft take-offs and engine run-up at stations N_1 & N_4 , and (b) noise events due to APU operation and towing of aircraft at monitoring stations N_2 & N_4 .

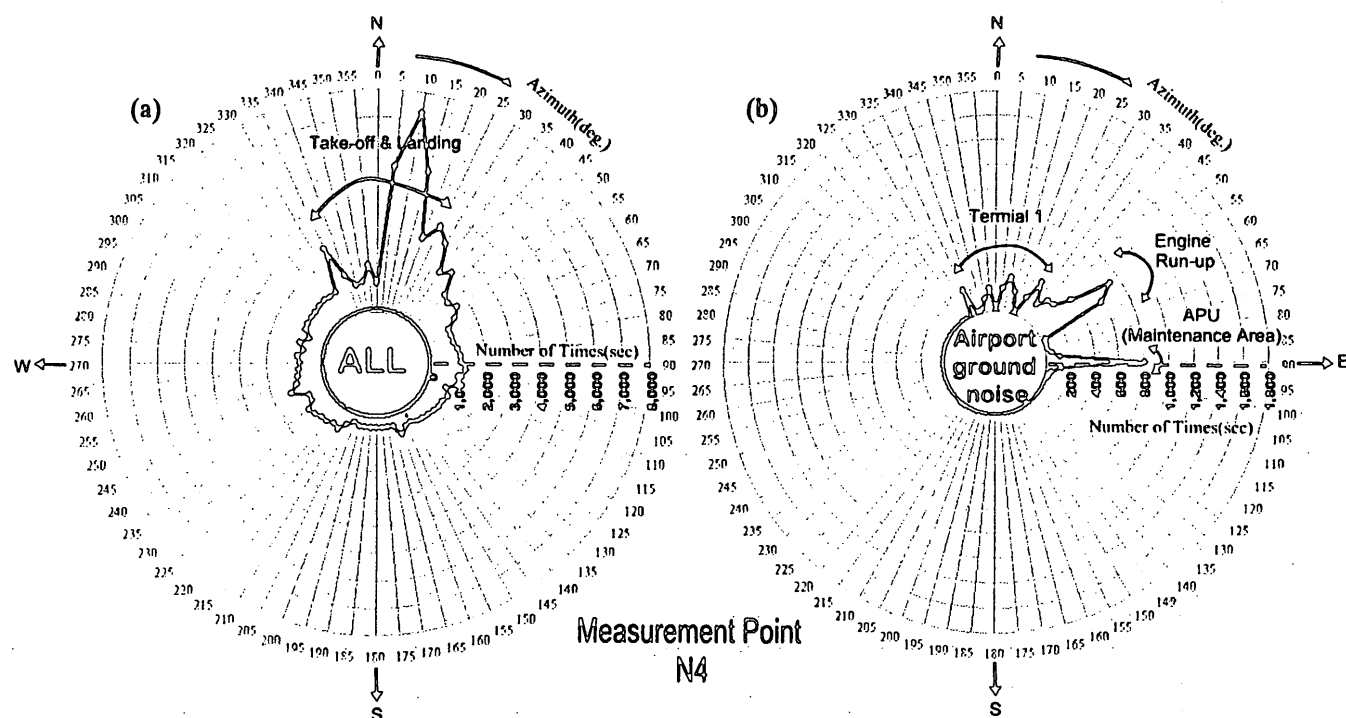


Fig.6 Frequency distributions of sound-arrival-direction: (a) all parts of observed environmental noise, and (b) a part of environmental noise, which was identified as airport ground noise at a monitoring station N_4 .